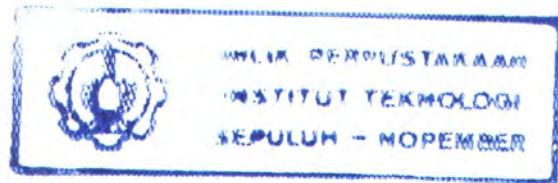


22.660/H/05

TUGAS AKHIR
(LS 1336)



**PENURUNAN KADAR *PARTICULATE MATTER*
GAS BUANG MOTOR DIESEL
DENGAN *ELEKTROSTATIC PRECIPITATOR***



RSSP
623.872.36

Can

P-1

2005

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	5-8-2005
Terima dari	H
No. Agenda Prp.	221667

Oleh:
S. ADY CANDRA
NRP. 4299 100 040

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2005**



JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA
Kampus ITS Keputih Sukolilo Surabaya 60111
Telp. (031) 5994754, 5994251-55 Pes. 1102, Fax. 5994754

SURAT KEPUTUSAN Pengerjaan Tugas Akhir (LS 1336)

Sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana Teknik pada jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS. Maka perlu diterbitkan surat Keputusan Pengerejaan Tugas Akhir yang memberikan tugas kepada mahasiswa tersebut dibawah ini untuk mengerjakan Tugas sesuai judul dan lingkup bahasan yang telah ditentukan.

Nama Mahasiswa : S Ady Candra
NRP : 4299 100 040
Dosen Pembimbing : I. Ir. Aguk Zuhdi MF, M.Eng.
II. Ir. H Tjoek Soeparajitno.
Tanggal diberikan tugas : 11 Pebruari 2004.
Tanggal diselesaikan tugas : 1 Pebruari 2005
Judul Tugas akhir : **PENURUNAN KADAR *PARTICULATE MATTER*
GAS BUANG MOTOR DIESEL DENGAN
*ELEKTROSTATIC PRECIPITATOR***

Surabaya, 11 Pebruari 2004
Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan – ITS.



Yang menerima tugas :

Mahasiswa :

S. Ady Candra
NRP. 4299 100 040

Dosen Pembimbing I :

Ir. Aguk Zuhdi MF, M.Eng.
NIP. 131 646 637

Dosen Pembimbing II :

Ir. H. Tjoek Soeparajitno.
NIP. 130 816 215



LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagaian Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**



**Oleh:
S. ADY CANDRA
NRP. 4299 100 040**

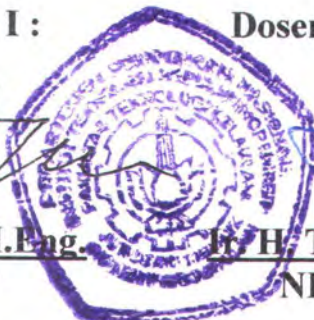
**Mengetahui dan Menyetujui
Surabaya, 1 Februari 2005**

Dosen Pembimbing I :

Dosen Pembimbing II :

Ir. Aguk Zuhdi MF, M.Eng.

NIP. 131 646 637



Ir. H. Tjoek Soeparajitno.

NIP. 130 816 215

ABSTRAK

Penggunaan Diesel pada banyak faktor industri sebagai motor utama dan penggerak utama pada beberapa sarana transportasi merupakan satu diantara keuntungannya.

Pada eksperimen ini akan digunakan salah satu metode untuk menekan atau mengurangi emisi gas buang, yakni penggunaan ELEKTROSTATIK PRECIPITATOR sebagai suatu alat atau sarana untuk menproses gas buang dari motor diesel.

Elektrostatik precipitator merupakan salah satu alternatif dalam menurunkan partikel-partikel padat pada emisi gas buang motor diesel, hal ini dikarenakan elektrostatik precipitator mempunyai efisiensi yang sangat tinggi serta rentang diameter partikel yang cukup besar.

Elektrostatik precipitator berkerja dengan cara menangkap partikel padat emisi gas buang yang melewati daerah pemuatan partikel(discharge) plat yang bermuatan pada potensial tinggi. Daerah pemuatan mendiscas elektron berkecepatan tinggi yang mengionkan moleku-molekul dan partikel-partikel dalam udara gas buang. Partikel gas buang mengadsorpsi ion-ion positif dan menjadi sangat bermuatan sehingga ditarik dan diiklat oleh elektroda yang bermuatan sebaliknya, sehingga setelah mengalami proses ini kadar partikel padat emisi gas buang yang keluar dapat dihilangkan atau dikurangi.

Oleh sebab itu dalam eksperimen ini digunakan Elektrostatik precipitator sebagai pilihan metode pengurangan partikel padat gas buang motor diesel, dan diharapkan dapat mengurangi kadar partikel padat gas buang motor diesel secara efisien.

Kata kunci : Elektrostatik Precipitator, Particulate Matter.

Kata Pengantar

Puja puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT sebagai Raja dari Bumi Alam Semesta, berkat rahmat dan karunia-NYA serta bimbingan-NYA sehingga penulis dapat menyelesaikan seluruh pengerjaan Tugas Akhir dengan segala keterbatasan sebagai manusia dan kesalahan baik yang disengaja maupun yang tidak disengaja.

Penyelesaian Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat wajib bagi mahasiswa program Sestrata 1 untuk memperoleh gelar Sarjana di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan bobot kredit 6 Sistem Kredit Semester(SKS). Maka tersusunlah Tugas Akhir ini dengan judul :

“Penurunan Kadar *Particulate Matter* Gas Buang Motor Diesel Dengan *Elektrostatic Precipitator*”.

Banyak dorongan dan bantuan yang penulis dapatkan selama penyusunan Tugas Akhir ini hingga terselesaikannya dengan beberapa kekurangan dan kelebihannya. Pada kesempatan ini perkenankanlah penyusun menyampaikan banyak terimakasih kepada:

1. Bapak-ku, Sunarko dan Ibu-ku, Misri tercinta dan yang paling dicinta atas segala kasih sayang yang tiada batas, kedua kakak tercinta, Utami dan Rini beserta keluarga dan telah memberikan segala dukungan moril dan materialnya terhadap pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Ir. Aguk Zuhdi MF, M.Eng. selaku Dosen Wali, Dosen Pembimbing dan “Bapak” dikampus yang selalu memberikan motivasi, bimbingan dan nasehat selama kegiatan perkuliahan dan dalam pengerjaan Tugas Akhir hingga terselesaikan seluruhnya.
3. Ir. H. Indrajaya Gerianto, MSc. dan Ir. H. Tjoek Soeparajitno, selaku dosen pembimbing, yang telah banyak membantu dan memberikan masukan, saran maupun motivasi selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Ir. Surjo Widodo Adjie., M.Sc. selaku Ketua Jurusan, dan Ir. H. Agoes Santoso Mphil. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, FTK-ITS, Surabaya.

5. Seluruh dosen tim penguji Tugas akhir, yang telah bersedia mengevaluasi seluruh pengerjaan tugas akhir ini.
6. Rekan-rekan *Nagathél Colony* Angkatan 1999 Teknik Sistem Perkapalan atas “Pelangi-Pelangi” indah yang telah tercipta, *Keep In Thought* dan seluruh mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan pada umumnya.
7. *Sedulurku* di Surabaya, *Lord Tyok*, *Heru Prethel*, *Yudi Lopot*, *Eddy Master*, *Ferry Q-penk*, *Yogi Bronjong*, *DJarwo*, *Plenthen*, *Rulum*, *Manunk*, *Abi*, *Ano’*, *Joko Jack*, *Okta Thewel*, *Lukman*, *koko* dan yang tidak sempat tertulis, *surabaya terasa sepi tanpa kalian semua*, *thanks for all*.
8. Rekan-Rekan Laboratorium Pembakaran Motor Dalam, *Bibit SR* beserta *Rahardian*, *Awan P*, *Wisnu gendhon*, *Khusnul K*, terima kasih atas kerja samanya.
9. *Rahmawati*, *Cristina*, *Susanti*, *Nuraeni*, *Siat Ling*, *Sulistyowati*, *Ria*, *Ari’*, atas “*warna indah*” yang tercipta dan *Teman terindah* yang ada yang tidak dapat disebut, atas segala cerita yang telah terjadi, *I stiiil loving you my friend*.
10. Serta berbagai pihak yang belum tertulis dan yang tidak mungkin disebutkan satu persatu yang telah berperan dalam pengerjaan Tugas Akhir.

Semoga segala keikhlasan dan kebaikan yang telah diberikan mendapatkan balesan yang terbaik dari Allah SWT.

Sebagai manusia biasa, saya menyadari bahwasanya penulisan Tugas akhir ini masih terdapat beberapa kesalahan, keterbatasan dan kekurangan. Oleh karena itu saya mengharapkan saran-saran dan kritik membangun sebagai masukan untuk penyusun dan demi kesempurnaan Tugas akhir ini. Semoga dengan Penulisan Tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukannya.

Surabaya, 1 Pebruari 2005

S. Ady Candra



DAFTAR ISI

Lembar judul	
Surat Keputusan Tugas Akhir	
Lembar pengesahan	i
Abstrak	ii
Kata Pengantar	iii
Daftar isi	v
BAB I : PENDAHULUAN	I-1
1.1 Latar Belakang Masalah	I-1
1.2 Permasalahan	I-3
1.3 Tujuan Penulisan	I-5
1.4 Batasan Masalah	I-5
BAB II : TINJAUAN PUSTAKA.....	II-1
2.1 Proses Terjadinya Emisi Gas Motor Diesel	II-1
2.1.1 Proses Pembakaran	II-1
2.1.2 Kandungan Particulate Matter Gas Buang Diesel Engine	II-2
2.2 Karakteristik Partikel Padat Dalam Gas Buang	II-4
2.3 Listrik Elektrostatik Dan Potensial Listrik	II-5
2.3.1 Muatan listrik.....	II-5
2.3.2 Hukum coulomb.....	II-6

2.3.3 Medan Listrik.....	II-6
2.3.4 Potensial Listrik.....	II-7
2.4 <i>Elektrostatik Precipitator (ESP)</i>	II-8
BABA III : METODOLOGI PENELITIAN	III-1
3.1. Perencanaan Dan Desain Prototype	III-2
3.1.1 Dimensi Prototipe.....	III-2
3.1.2 Bentuk, Susunan, Luasan Elektrode Pengumpul & Discharge.....	III-3
3.1.3 Besar tegangan yang terjadi pada elektroda.....	III-3
3.1.4 Instalasinya pada motor diesel	III-3
3.1.5 Material atau bahan dari elektrode dan isolatornya.....	III-4
3.1.6 Pertimbangan kecepatan gas.....	III-4
3.2. Perakitan Dan Pembuatan.....	III-4
3.2.1 Perakitan dan pembuatan susunan elektroda didalam prototype.....	III-5
3.2.2 Pembuatan casing atau tutup elektroda	III-5
3.2.3 Perakitan power suply DC tegangan tinggi	III-5
3.3. Proses Kalibrasi Dan Pengujian Prototype.....	III-6
3.4 Hasil Kalibrasi Dan Pengujian Prototype.....	III-8
BAB IV : ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	IV-1
4.1 Perencanaan Dan Desain Prototype ESP.....	IV-1
4.1.1 Perhitungan Desain Prototype	IV-1
4.1.2 Perencanaan Kelistrikan Dan Power Suply DC High Voltage.....	IV-5
4.1.3 Material Pembuat Prototype ESP.....	IV-7
4.1.3.1 Material elektrode pengumpul (plate colector).....	IV-7
4.1.3.2 Material elektrode pemuatan listrik (wire Discharge).....	IV-8

4.1.3.3	Meterial isolator.....	IV-8
4.1.3.4	Meterial tutup/casing prototype.....	IV-9
4.2	Pembuatan Prototype.....	IV-9
4.2.1	Penyusunan Elektrode.....	IV-10
4.2.2	Pembuatan tutup (casing elektrode).....	IV-13
4.2.3	Power Supply DC High Voltage.....	IV-16
4.3	Kalibrasi.....	IV-17
4.3.1	Kalibrasi motor diesel dengan prototype ESP terpasang.....	IV-17
4.3.2	Uji Coba Dan Kalibrasi Prototype ESP.....	IV-19
4.3.3	Uji coba dan kalibrasi prototype ESP.....	IV-21
4.3.3.1	Presentase penurunan kadar partikel padat gas buang.....	IV-22
4.3.3.2	Rata-rata penurunan partikel padat gas buang	IV-26
4.3.3.3	Hub. kecepatan gas buang dengan effisiensi ESP	IV-28
4.4	Pembahasan.....	IV-29
BAB V : KESIMPULAN		V-1
5.1	Kesimpulan.....	V-1
5.2	Saran	V-1
Daftar Pustaka.....		viii
Lampiran		

BAB I PENDAHULUAN



FAKULTAS TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNIK KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah.

Penggunaan Diesel pada banyak faktor industri sebagai motor utama dan penggerak utama pada wahana darat merupakan satu diantara keuntungannya. Suku cadang pun banyak dijual di pasaran. Untuk penggunaan dalam bidang kelautan biasanya digunakan motor Diesel dengan kecepatan lambat (*low speed*), kecepatan menengah (*medium Speed*) tapi tak jarang juga kapal yang menggunakan Diesel kecepatan tinggi (*High speed*), yang kesemuanya dioperasikan dengan bahan bakar berat (*residual oil*) mulai dari awal sampai selesai operasional kapal

Disamping ada keuntungan dari penggunaan mesin Diesel juga ada masalah yang ditimbulkan. Kebanyakan masalah yang timbul berkaitan dengan masalah lingkungan, baik itu berupa kerusakan secara langsung maupun tidak langsung. Gas buang yang dikeluarkan dapat mengakibatkan kerusakan pada lingkungan dan makhluk hidup. Asap gas buang yang biasanya berwarna hitam banyak mengandung partikel-partikel dan gas yang membahayakan bagi manusia. Unsur material yang terkandung dalam gas buang antara lain: nitrogen oksida (NO_x), sulfur oksida (SO_x), karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), asap dan uap air (H_2O), dan banyak macam gas dalam komposisi yang kecil

Emisi gas motor diesel ini berasal dari proses pembakaran antara campuran bahan bakar dan udara serta penguapan minyak pelumas didalam ruang bakar

didalam proses kerja motor diesel. Hasil pembakaran tersebut dibuang keluar melalui cerobong yang ada di engine casing kapal menjadi gas buang(emisi gas). Emisi gas buang ini banyak mengandung senyawa-senyawa gas dan partikel-partikel padat dengan ukuran yang sangat kecil(*micron*) yang sangat membahayakan bagi lingkungan sekitar.

Campuran antara partikel padat dan gas buang ini biasa disebut dengan Aerosol, dimana partikel padat yang tercampur tersebut disebut dengan zat yang terdispersi pada gas (*Sher, 1998*) dan (*Wright, 2000*). Pada ilmu kimia campuran seperti tersebut disebut dengan **KOLOID**, yakni keadaan antara suatu larutan dan suatu suspensi (*Keanan, Kleinfelter & Wood, 1996*). Bila bahan atau wujud berada pada keadaan koloid, bahan ini menunjukkan sifat-sifat yang menarik dan penting yang tidak merupakan ciri dari bahan dalam agregat yang lebih besar, salah satu sifatnya adalah efek tydal dan gerakan brown(acak).

Salah satu cara yang digunakan untuk memisahkan zat yang terdispersi dengan zat pendispersi dengan pengendapan dengan metode Koagulasi Listrik atau aplikasi medan listrik. Oleh karena itu perlu suatu penanganan yang serius untuk mengurangi kadar dari zat-zat yang berbahaya tersebut terutama kandungan partikel padat yang terkandung dalam emisi gas buang motor diesel.

Untuk menekan atau mengurangi kadar atau kosentrasi partikel-partikel padat (*particulate matter*), salah satunya adalah dengan *Elektrostatic precipitator*. Metode ini berkerja dengan jalan menangkap partikel *smoke* emisi gas buang yang melewati daerah antara elektroda pemuat/*discharge electrode(wire)* dan elektroda pengumpul/plat yang bermuatan pada potensial tinggi. Ujung-ujung dan permukaan *wire* ini mendiscas elektron berkecepatan tinggi yang meng-ion-kan

molekul molekul dalam udara gas buang. Partikel padatan gas buang mengadsorbsi ion-ion yang dilepas pada daerah korona disekitar jarum atau *wire* dan menjadi sangat bermuatan sehingga ditarik dan diiklat oleh elektroda-elektroda pengumpul yang bermuatan sebaliknya. Setelah mengalami proses ini kadar partikel padat emisi gas buang yang keluar dapat dihilangkan atau dikurangi.

1.2 Permasalahan.

Tingkat polusi udara yang diakibatkan oleh transportasi laut pada dasarnya relatif sangat kecil dibandingkan tingkat polusi udara akibat transportasi darat, atau kegiatan didarat. Namun dimasa sekarang atau yang akan datang polusi udara di lingkungan perairan perlu juga adanya penanganan khusus atau peraturan yang perlu di buat. Sehingga nantinya tingkat polusi udara di lingkungan perairan dapat ditekan, atau dikurangi.

Emisi hasil produk pembakaran yang keluar dari Diesel merupakan salah satu penyebab kerusakan lingkungan, terutama yang mempunyai proporsi yang sangat besar. Kandungan dari gas buang motor diesel diantaranya adalah : Nitrogen (NO_x) dan Oksigen, Karbon Monoksida (CO), Carbon Dioksida (CO_2) dan Uap Air, Oksida Sulfur (SO_x , SO_2 , SO_3) dan Partikel padat dalam Gas Buang Partikulate Matter (PM).

Partikel-partikel padat (*particulate metter*) yang berterbangan bersama-sama gas buang dalam jumlah yang besar akan membahayakan kesehatan manusia. Oleh karena itu hampir semua negara di belahan bumi ini memberlakukan regulasi pembatasan banyaknya partikel padat yang dikeluarkan oleh motor diesel. Sudah

banyak upaya yang telah dilakukan oleh engine manufaktur maupun peneliti-peneliti didunia.

Sekalipun sudah banyak upaya mereduksi partikel-partikel padat, masih perlu upaya menangkap partikel-partikel padat yang efektif. Menggunakan metode medan elektrostatis secara teoritis sangat menjanjikan; karena semua partikel-partikel padat seharusnya dapat ditangkap. Oleh karena itu perlu adanya sebuah alat penangkap partikel-partikel padat berbasis medan elektrostatis.

Untuk membuktikan bahwa medan elektrostatis dapat menangkap partikel-partikel padat pada gas buang maka perlu pembuatan sebuah prototype sejenis Elektrostatis precipitator. Cara kerja protipe ini dengan jalan memasang elektroda yang dialiri listrik bertegangan tinggi pada saluran keluaran gas buang motor diesel. Setelah melewati elektroda yang bertegangan tinggi tersebut, partikel-partikel padat gas buang yang mengandung muatan listrik oleh elektroda bertegangan listrik tinggi ini ditarik dan diikat. Partikel dan logam berat ini terikat dikarenakan perbedaan polaritas dari partikel padat dan elektroda pengumpul, mempunyai beda tegangan tinggi sehingga molekul-molekul gas buang mengalami ionisasi, dan dapat diikat oleh elektroda tersebut tersebut.

Dalam tugas akhir ini permasalahan yang akan di kaji adalah penerapan pengurangan atau penghilangan kadar partikel gas buang motor diesel dengan metode koagulasi listrik dengan peralatan yang disebut elektrostatis precipitator(ESP).

1.3 Tujuan Penulisan.

Tujuan penulisan Tugas Akhir ini untuk mengetahui seberapa besar pengurangan kadar partikel padat gas buang motor diesel dengan menggunakan elektrostatis precipitator. Dari pengujian nantinya diharapkan akan dihasilkan suatu prototipe peralatan ESP yang dapat berkerja mengurangi kandungan partikel smoke gas buang motor.

1.4 Batasan Masalah.

Batasan masalah yang kami gunakan antara lain:

1. Mesin yang digunakan untuk pelaksanaan eksperimen adalah Motor Diesel.
2. Penerapan metode ini hanya untuk menghilangkan atau mengurangi kadar partikel padat gas buang motor diesel.
3. Data yang diambil adalah kadar penggunaan elektrostatis precipitator sebagai alat untuk mengurangi konsentrasi *particulate Matter*.

Demikianlah batasan masalah yang telah kami ambil untuk mendefinisikan permasalahan yang akan dikerjakan dalam penelitian.

1.5 Manfaat Tugas Akhir

Diharapkan program ini nantinya mempunyai kegunaan dan manfaat antara lain :

- Prototipe Ini dapat di aplikasikan untuk mengurangi pencemaran partikel padat pada penggunaan motor diesel.
- Dapat mengurangi dan menekan kadar pencemaran udara, khususnya partikel padat yang berasal dari motor diesel.

- Sebagai pengendali dan control kadar partikel padat pada gas buang motor diesel.
- Sebagai salah satu solusi dan upaya mengurangi tingkat pulusi udara akibat penggunaan motor diesel.
- Pelaksanaan dari peraturan yang mengharuskan menekan angka polusi udara dari penggunaan motor diesel.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



FAKULTAS TEKNIK KELAUTAN

JARUMAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

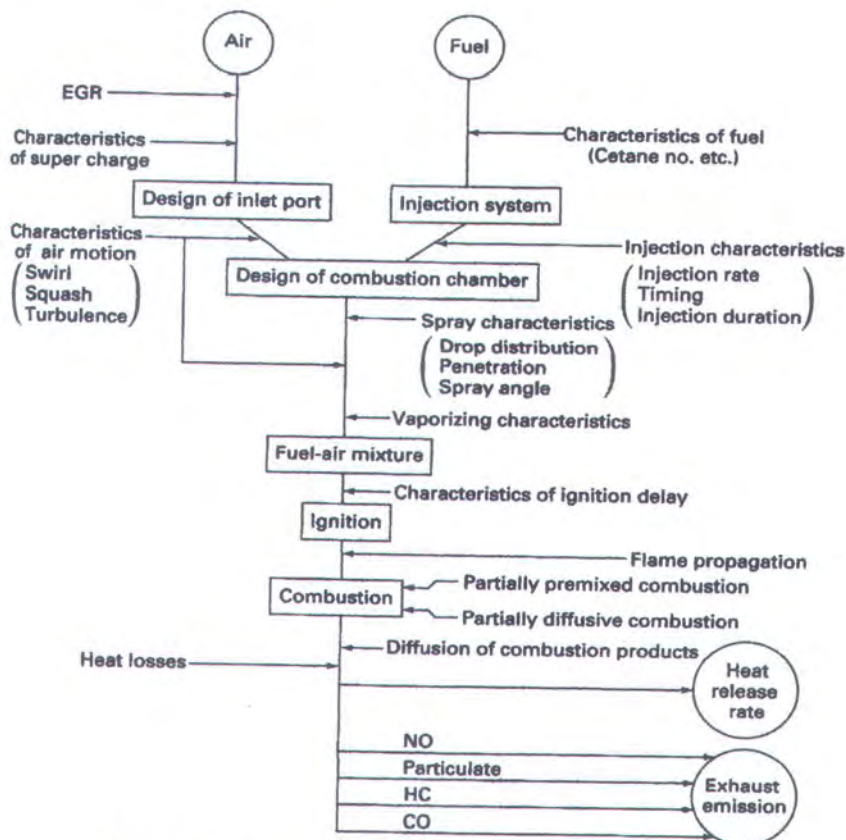
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 PROSES TERJADINYA EMISI GAS MOTOR DIESEL

2.1.1 Proses Pembakaran.

Proses pembakaran dimulai dengan adanya udara dan bahan bakar, yang kemudian masuk ke dalam ruang bakar (*combustion chamber*). Pada daerah ini ada proses pencampuran bahan bakar yang telah dikabutkan dengan atom O_2 yang terdapat di dalam udara. Proses selanjutnya adalah pembakaran, dimana dari proses pembakaran ini didapatkan tenaga disamping produk pembakaran yang lain berupa gas sisa produk pembakaran.



Gbr.2.1 proses pembakaran bahan bakar pada Diesel engine.
(Society of Automotive Engineers Inc. 1999)

2.1.2 Kandungan Particulate Matter Gas Buang Diesel Engine.

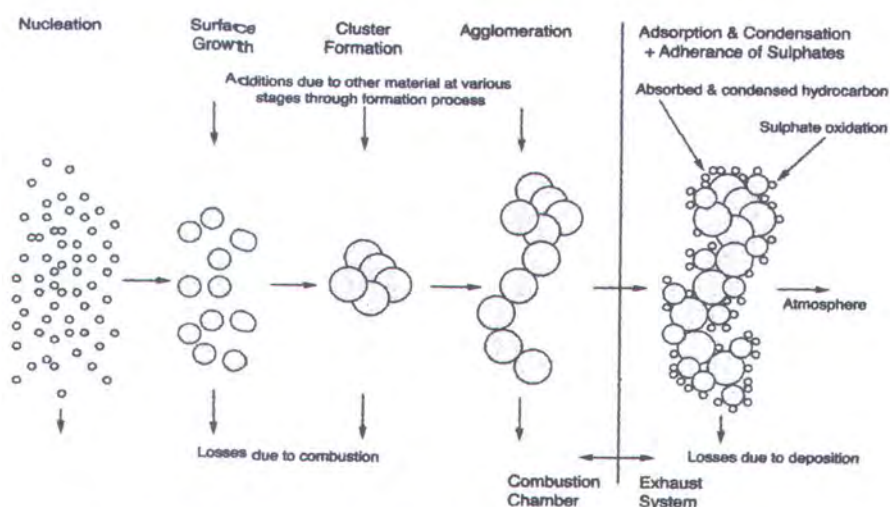
Unsur padat yang keluar bersama dengan aliran gas buang disebut sebagai PM (*particulate Matter*). Pengertian *particulate matter* adalah semua material yang dikumpulkan pada suatu filter khusus setelah proses pendinginan, difilter pada udara temperatur yang ada di lingkungan sekitar 50°C (*Wright, 2000*). Definisi ini menyangkut semua partikel yang mewakili penggabungan yang lengkap dari komponen organik dan anorganik, seperti: jelaga (dengan rasio perbandingan C/H besar sebagai elemen hidrokarbon), asap bahan bakar (bersama dengan air dan sulfat), atau sebagian hidrokarbon yang tidak terbakar. Sumber PM yang lainnya adalah minyak pelumas. Minyak ini biasanya ikut masuk kedalam ruang pembakaran dan sebagian tidak terbakar. Semua bentuk material yang merupakan derivatif dari bahan bakar dan minyak pelumas kemudian dikenal dengan nama *soluble organic fraction* (SOF). Pelumas merupakan penyumbang terbesar.

PM terbentuk mengikuti pergerakan atom yang berurutan, bentuk permukaan, dan bentuk penyebaran gas bahan bakar dalam ruang bakar (*combustion Chamber*). Aliran gas menyebabkan partikel-partikel *soot* kecil terbentuk, kemudian antar dua partikel bertumbukan dan akhirnya menjadi satu, semakin lama semakin banyak yang menyebabkan terbentuknya partikel *soot* dengan ukuran lebih besar. Partikel-partikel ini akan bergerak dan berkumpul menjadi satu didalam ruang pembakaran. Partikel PM ini dibentuk dari fase kecil (atomisasi), menjadi partikel yang lebih besar, sebelum katub buang (*Exhaust Valve*) membuka (*Sher, 1998*).



Tahapan terakhir proses pembentukan partikel meliputi dua kejadian yang saling berkaitan, terjadi sebagai pendinginan aliran gas buang yang keluar dari ruang bakar (*combustion Chamber*). Proses Adsorpsi berkaitan dengan molekul hidrokarbon pada bagian aliran gas buang yang melekat pada permukaan partikel *soot* pada proses kondensasi (*Wright, 2000*). Hidrokarbon bahan bakar yang terpengaruh dalam proses tersebut kemungkinan merupakan turunan dari bahan bakar, minyak pelumas, komponen sisa pembakaran. Ada tumpang tindih antara PM dan komponen HC pada saat keluar dari ruang bakar sebagai material transfer dari phase gas ke bentuk partikel yang membentuk komponen SOF (*Soluble Organic Friction*).

Oksidasi dari SO_2 menjadi SO_3 menyebabkan terbentuknya pertikel. Sebagian dari SO_3 yang terbentuk selama proses pendinginan akan bereaksi dengan uap air menjadi asam sulfur dan akan menyerap uap air. Partikel yang tersisa akan mengalami oksidasi dan kondensasi sebagai sub-bagian dari *droplet*, kemudian dioksidasi membentuk partikel baru selama proses pembakaran.



Gambar: 2.2 Proses pembentukan *Particulate Matter* pada diesel Engine
(Society of Automotive Engineers Inc. 1999)

Dari gambar tentang ilustrasi proses pembentukan *Particulate Matter* dapat kita lihat. Proses ini dimulai dengan terpecahnya bahan bakar menjadi atom yang akan berikatan dengan atom Oksigen, dari ikatan inilah jika pada proses pembakaran tidak terbakar ataupun hanya terbakar sebagian menyebabkan mengumpulnya atom dan membentuk ikatan. Semakin banyak ikatan menyebabkan terbentuknya ikatan yang panjang (*agglomeration*). Pada saat yang bersamaan ada penggabungan banyak atom sulfat dan atom lainnya yang tidak ikut terbakar juga dalam proses pembakaran, yang mengikatkan diri ke dalam ikatan rantai yang besar ini. Hal inilah yang akan ikut keluar dalam bentuk *particulate matter* dan SOF (*Soluble Organic Friction*).

2.2 KARAKTERISTIK PARTIKEL PADAT DALAM GAS BUANG.

Apabila ditinjau dari segi bahan penyusun gas buang dalam ilmu kimia, gas buang bisa disebut dalam keadaan/sistem KOLOID, oleh karena merupakan keadaan antara suatu larutan dan suatu suspensi. Dalam hal semacam ini partikel padat dikatakan zat padat yang terdispersi pada gas buang sebagai zat pendispersi. Pada keadaan Koloid ini mempunyai sifat-sifat yang menarik yang tidak dimiliki oleh bahan dalam agregat yang lebih besar. Sifat-sifat yang dimiliki bahan dalam keadaan Koloid adalah, dapat menghamburkan cahaya yang melewati oleh partikel-partikel yang terdispersi (Efek Tyndall). Serta pada partikel yang terdispersi bergerak secara acak dalam suatu medium pendispersi (gerak brown). Sifat-sifat ini juga terjadi pada sistem koloid pada gas buang motor diesel.

Dalam campuran homogen dan stabil yang disebut larutan, molekul, atom ataupun ion disebarkan dalam suatu zat kedua. Dengan cara yang agak mirip,

materri koloid dapat dihamburkan atau disebarkan dalam suatu medium sinambung, sehingga dihasilkan suatu disperse(sebaran)koloid atau sistem koloid.

Zat Terdispersi	Zat Pendispersi	Nama Type Koloid	Contoh
Gas	Cairan	Busa	Krim kocok, busa bir, busa sabun
Gas	Padat	Busa padat	Batu apung, karet busa
Cairan	Gas	Aerosol cair	Kabut, awan
Cairan	Cairan	Emulsi	Mayones, susu
Cairan	Padat	Emulsi padat	Keju, mentega
Padat	Gas	Aerosol padat	Asap, gas buang, debu
Padat	Cairan	Sol	Cat,
Padat	Padat	Sol padat	Banyak aliase, intan hitam, kaca rubi

Tabel 2.1 Sistem koloid (Keenam, Klienfelter, Wood, 1996)

Berdasar dari keadaan koloid dari gas buang tersebut maka dalam menghancurkan asap dan jenis aerosol lain ialah metode koagulasi listrik dari cottrell (*Keanan, Kleinfelter & Wood, 1996*). Metode koagulasi listrik ini menggunakan medan listrik untuk menangkap partikel yang terdispersi pada aerosol. Dalam Aplikasi teknologi medan listrik pada Electrostatic precipitator (ESP), yang merupakan alat untuk menangkap/menyaring partikel-paretikel padat pada industri semen, industri bahan kimia, kertas dan lain lain.

2.3 LISTRIK ELEKTROSTATIS DAN POTENSIAL LISTRIK

2.3.1 Muatan listrik.

Dari beberapa penelitian di dunia didapati bahwa ada dua macam muatan listrik, yaitu muatan negatif/- dan mutan positif/+. Dari dua macam muatan listrik tersebut didapati pula bahwa :

- muatan yang sama jenisnya, tolak menolak
- muatan yang berlainan jenisnya, tarik menarik.

Muatan listrik bukanlah suatu yang dapat diciptakan atau dibangkitkan, dalam hal ini muatan tetapi pada proses mendapatkan muatan listrik itu ialah berpindahnya elektron dari suatu benda satu ke benda yang lain, sehingga dalam proses perpindahan elektron tersebut terdapat bagian yang kelebihan dan kekurangan elektron. (Tipler, 1996)

2.3.2 Hukum coulomb.

Penelitian mengenai gaya antara muatan muatan listrik menyimpulkan bahwa gaya tarik menarik anantara dua titik muatan listrik, berbanding terbalik dengan kuadrat jaraknya. Gaya tersebut juga tergantung pada muatan tiap benda/Hukum *Coulomb* (Sears & Zemansky, 1994). Gaya yang terjadi ini disebut Gaya Coulomb yang secara matematis dapat ditulis sbb :

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Pada rumusan tersebut k adalah konsntanta pembanding yang besarnya tergantung pada satuan untuk menyatakan F, q_1 , q_2 , dan R. persamaan tersebut adalah persamaan matematis yang sekarang disebut ***hukum coulomb*** : “ ***gaya tarik atau menolak antara dua buah muatan titik berbanding lurus dengan hasil kali dari kedua titik muatanntersebut dan berbannding terbalik dengan kuadrat jaraknya*** ” (Sears & Zemansky, 1994).

2.3.3 Medan Listrik

Medan listrik dikatakan terdapat disebuah titik jika ada gaya listrik dialami oleh sebuah benda bermuatan yang ditempatkan dititik itu. Medan listrik disebuah titik kita definisikan sebagai hasil bagi yang diperoleh apabila gaya F yang berkerja terhadap muatan ,dibagi dengan besar muatan yang berada didaerah medan listtrik, secara matematis sbb: $E = F/q_2$,

Dalam beberapa hal khusus, untuk mengevaluasi integral permukaan, maka dapat dijelaskan point-point sbb:

1. Jika besar E tegak lurus disemua titik pada sebuah permukaan yang luasnya A , dan besarnya sama dengan di semua titik permukaan itu, maka $E_n = E$ dimana nilai E adalah konstan, maka persamaannya : $\oint E_n dA = E A$
2. Jika E parallel dengan sebuah permukaan disemua titik di permukaan, maka $E_n = 0$, maka integralnya bernilai nol.
3. Jika $E = 0$ di semua titik permukaan maka integralnya bernilai nol.

(Sears & Zemansky, 1994)

2.3.4 Potensial Listrik.

Beda potensial listrik pada dua titik A dan B ($V_A - V_B$) didefinisikan sebagai negative dari kerja persatuan muatan yang dilakukan oleh medan listrik ketika muatan uji bergerak dari A ke B.

$$\Delta V = V_B - V_A = - \int_A^B E \cdot d\ell$$

untuk perpindahan tak hingga $dV = -E \cdot d\ell$

satuan dari potensial dan beda potensial adalah Volt(V) dimana

$$1 \text{ V} = 1 \text{ J/C.}$$

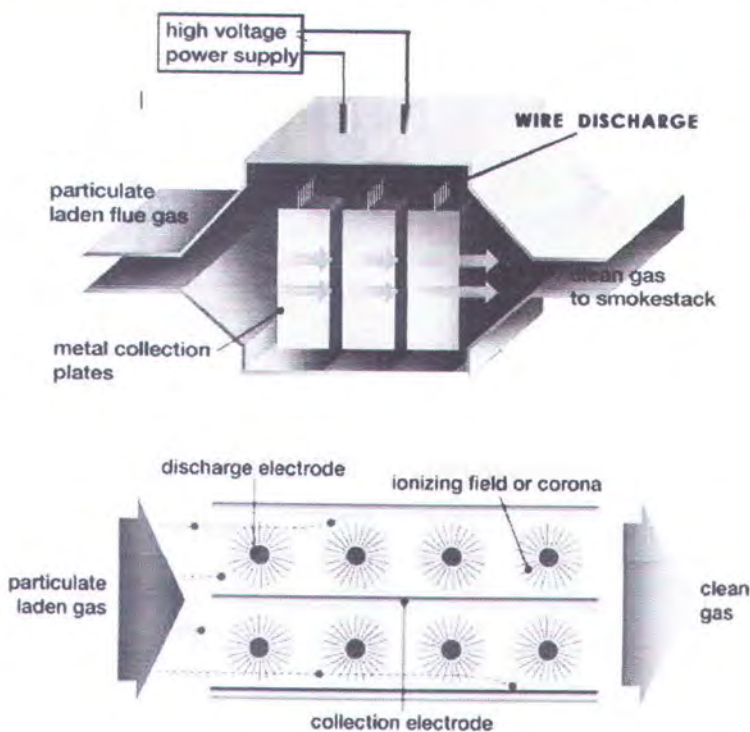
Sedangkan untuk energi potensial elektrostatis sistem muatan titik adalah kerja yang dibutuhkan untuk membawa muatan-muatan dari jarak tak hingga ke posisi terakhir.

2.4 ELEKTROSTATIK PRECIPITATOR (ESP).

Elektrosataik precipiotator adalah salah satu bentuk aplikasi teknologi yang digunakan untuk mengendapkan suatu partikel yang terdispersi pada suatu gas sebagai medium pendispersi, yang berkerja berdasarkan fenomena elektrostatik.

Dalam bidang industri ESP banyak digunakan sebagai pengendap, seperti pada industri semen, coal industri, paper industry, chemical industry, mineral earths and salts processing dan lain lain. Penggunaan ESP ini dipercaya dan telah melewati beberapa penelitian dapat menyaring atau mengendapkan hingga 99%.

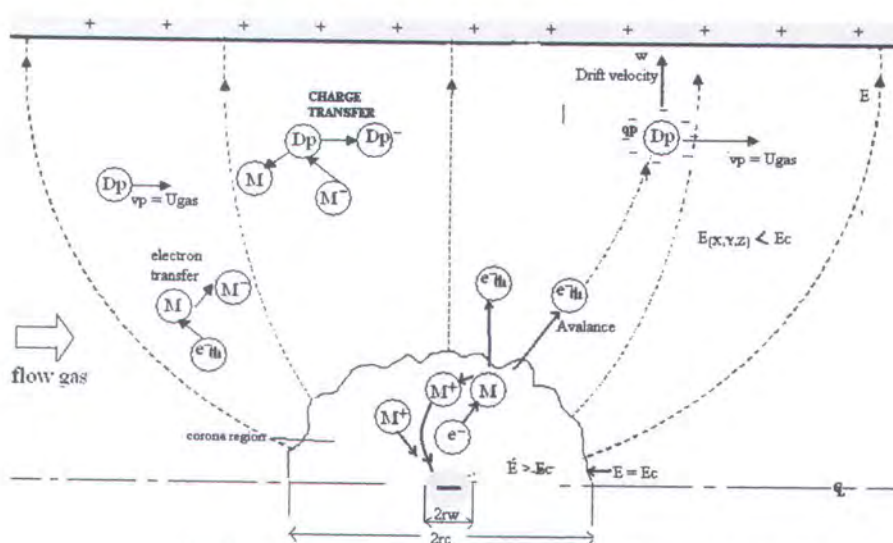
Prinsip dasar ESP adalah, partikel-partikel gas di muati oleh muatan listrik pada daerah CORONA, disekitar elektroda pemuat(discharge). Setelah proses pemuatan partikel tersebut bermuatan listrik yang kemudian oleh elektroda pengumpul, ditarik atau diikat. Pengumpulan ini diakibatkan oleh karena adanya beda potensial dan beda matan antara partikel dengan elektroda pengumpul.



Gambar2.3 Skema diagram Elektrostatik precipitator
(<http://www.powerspancorp.com/news/precipitator.shtml>)

Pembangkitan korona didasarkan pada proses “banjiran” electron disekitar elektroda/kawat discharge. Pada electrostatic precipitator ada dua macam corona Yakni corona positif dan corona negatif, keduanya dibedakan oleh karena perbedaan polarity yang dipasang pada elektroda discharge.

Dengan adanya medan listrik yang sangat besar pada kawat discharge, maka mempercepat proses banjir electron dimana electron-elektron mendapatkan percepatan menuju elektroda positif atau pasif.. mobilitas electron ini cukup besar dan terjadi tabrakan dengan molekul molekul lain, proses tumbukan ini biasanya menghasilkan electron-elektron baru. Electron-elektron ini akan bergerak menjauhi daerah corona yang terbentuk menuju elektroda positif. Proses ini berlangsung sangat cepat dan menghasilkan electron dan muatan-muatan positif dari partikel dan molekul gas dengan jumlah yang besar dengan disertai emisi cahaya dan suara yang kita sebut corona.



Gambar 2.4 pemuatan partikel pada daerah corona negative.
(Heinsohn & Kabel, 1999)

Electron-elektron ini akan bergerak menjauh keluar elektroda negatif dari kuat medan yang tinggi ke medan listrik yang rendah sehingga tidak mampu untuk memberikan energi pada electron untuk menghasilkan electron baru saat

bertumbukan pada aliran gas, namun oleh karena hal itu elektron-elektron itu akan diserap oleh partikel-partikel sehingga partikel-partikel bermuatan negatif oleh karena kelebihan elektron. Proses ini seakan akan menciptakan zona yang dilingkupi oleh awan ion negatif. Muatan-muatan negatif ini akan tertarik dan terkumpul pada elektrode pengumpul.

Dari mekanisme corona negatif ini secara keseluruhan menghasilkan partikel-partikel yang bermuatan negatif (*Heinsohn & Kabel, 1999*)

Sebagaimana diketahui partikel-partikel atau butiran yang bergerak dalam medan ESP akan mendapatkan muatan elektrostatik dengan dua mekanisme pemuatan yaitu dengan bombardment dan secara difusi.

Meskipun kedua mekanisme tersebut bekerja secara bersamaan, namun teori yang membahas mekanisme keduanya belum banyak dikembangkan dengan baik, sehingga biasanya masing-masing mekanisme diperlakukan secara terpisah.

Ion-ion gas dan juga elektron dalam corona negatif, bergerak ke arah normal melalui aliran gas yang membawa partikel-partikel dibawah pengaruh medan listrik, dan memuat partikel pada saat mereka berbenturan. Hal semacam ini disebut pemuatan secara bombardment. (*Heinsohn & Kabel, 1999*) Diasumsikan bahwa ion-ion gas bergerak sepanjang garis-garis gaya diantara elektrode tegangan tinggi dan elektrode pasif. Beberapa ion gas akan ditangkap oleh partikel-partikel yang tidak bermuatan dan muatannya akan diberikan atau diserap. Partikel-partikel tersebut sekarang termuat (bermuatan).

Sehingga garis-garis gaya akan rusak dan beberapa ion gas akan tertolak oleh partikel-partikel yang bermuatan, sehingga mengurangi laju pemuatan. Setelah beberapa waktu muatan pada partikel akan mencapai nilai limit.

Ion-ion gas dan electron yang ada yang membentur akibat pergerakan akibat lingkungannya oleh karena thermal disebut pemuatan secara difusi . dengan ka\ta lain pemuatan difusi terjadi jika ion yang membentur partikel lebih diakibatkan oleh pergerakannya yang acak dari pada pergerakannya sepanjang garis fluks listrik pada medan listrik sekitarnya, jika diansumsikan bahwa semua ion yang telah mempunyai sebagian muatan.

Pemuatan secara kombinasi antara kedua cara yaitu difusi dan bombardment berkerja secara bersamaan.

COCHET telah menurunkan suatu kombinasi dari kedua mekanisme dengan mempertimbangkan mekanisme sebagai arus ion yang mengalir pada partikel. Dimana formula pemuatan secara kombinasi diberikan seperti dibawah

ini.

$$q = ne \left[\left(1 + \frac{2\lambda_i}{d} \right)^{0.5} \frac{1}{0.5 + \lambda_i / d} \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} \right] \pi \epsilon_o E d^2 \frac{t}{t + 1}$$

dimana λ_i adalah rata-rata path iondi udara(= 0.1 micro m), ϵ_o = permitifitas kapasitas induksi dari ruang terbuka = $8.86 \cdot 10^{-12}$ F/m. (Strauss, 1975)

Dalam perencanaan prototipe ini diasumsikan bahwa partikel-partikel adalah:

- Secara geometris berbebtuk bola
- Jarak antar partikel adalah besar dibandingkan dengan diameter partikel.
- Konsentrasi ion dan medan listrik adalah diasumsikan merata
- Tidak ada pengaruh pada proses pemuatan pada satu partikel oleh medan dari partikel yang bermuatan lainnya (Heinsohn & Kabel, 1999).

sedangkan hal-hal yang berpengaruh pada ukuran dan bentuk ESP adalah :

- Volume gas (debit gas)
- Pola aliran inlet dan out let
- Ukuran partikel

(<http://www.research-cottrell-us.com/#size>)

Karakteristik dari gas tergantung pada laju volumetric, temperatur serta komposisinya. Untuk kondisi dari partikel-partikel tergantung pada resistivitas, distribusi ukuran, konsentrasi dan komposisinya. Dari beberapa karakteristik gas serta partikel-partikel tersebut yang tidak dapat dikendalikan adalah karakteristik partikel dan kecepatan perpindahan serta densitas power yang dibutuhkan untuk mengumpulkan, oleh karena hal-hal tersebut tergantung pada proses emisi.

Hal yang dapat dipilih dalam pemilihan dan penyeleksian dari parameter peralatan ESP adalah sebagai berikut:

- Sistem saluran gas buang.
- Distribusi kecepatan gas buang pada ESP
- Luasan electrode pengumpul.
- Beda tegangan Potensial ionisasi

Ujuk kerja dari ESP merupakan fungsi dari karakteristik gas dan partikel-partikel yang terkandung, desain dari system saluran serta kecepatan gas buang yang akan dipindahkan.

Sedangkan kondisi kelistrikan dipengaruhi oleh kondisi dimensi elektroda discharge dan *collector* plat elektrostatis precipitator yang akan direncanakan.

Komponen utama dari ESP adalah:

- Elektroda *discharge* (kawat)
- Elektroda pengumpul(plat)
- *Isolator*
- *Power Supply* DC *high voltage*
- Casing Dari Elektroda (penutup dari elektroda)

Effisiensi ESP merupakan perbandingan antara jumlah/kadar partikel-partikel gas buang yang terserap oleh ESP dengan kadar partikel gas buang sebelum memasuki ESP

Secara empiris dapat ditulis sebagai berikut:

$$eff = \frac{kadar_partikel_yang_terserap_ESP}{kadar_partikel_pra_ESP} 100\%$$

atau;

$$eff = \frac{(partikel_pra_ESP) - (partikel_pasca_ESP)}{partikel_pra_ESP} 100\%$$

BAB III METODOLOGI PENELITIAN



FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

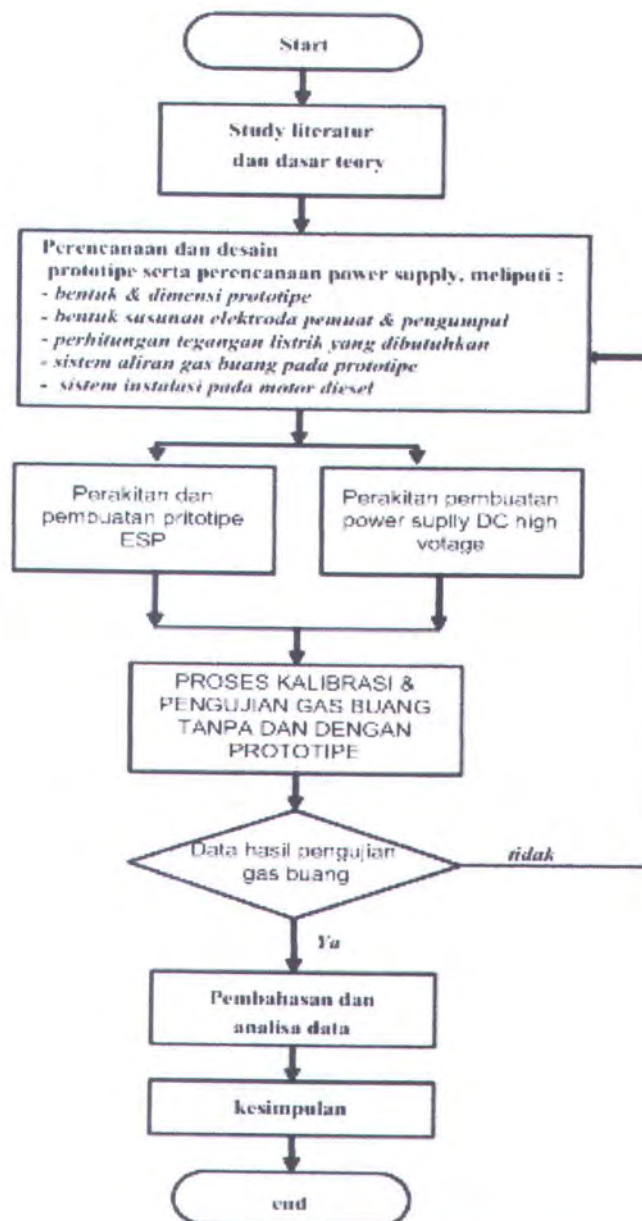
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian di tugas akhir ini terdapat beberapa kegiatan-kegiatan dan tahap-tahap proses pengerjaan hingga Tugas akhir ini terselesaikan. Dimana alur dari pengerjaan TA ini secara garis besar adalah sebagai berikut:



Gbr. 3.1 Kerangka metodologi pengerjaan

3.1. PERENCANAAN DAN DESAIN PROTOTYPE

3.1.1 Dimensi Prototipe.

Dalam perencanaan dimensi kita harus memperhatikan mengenai seberapa besar debit/Q gas buang motor diesel. Untuk mengetahui debit gas buang maka dapat dilakukan perhitungan dengan pendekatan matematis, yakni mengukur RPM motor, dan volume displesmen ruang bakar(bore dan stroke piston) serta jumlah piston.

Dari debit gas buang tersebut nantinya kita dapat menentukan seberapa besar luasan penampang gas masuk pada prototipe, dengan jalan menentukan besar kecepatan masuk sekecil mungkin (sesuai dengan aliran dalam hukum stokes)

Untuk aliran stokes berbentuk bola(asumsi) terjadi bila

$$Re_t = \frac{v_t d \rho}{\mu} \leq 2.0$$

Dimana v_t (kecepatan masuk), d (diameter rata-rata partikel), ρ (massa jenis partikel) dan μ (viscositas fluida).

Dengan demikian nantinya didapatkan effisisensi pengumpulan partikel dapat tercapai dengan sempurna.

Untuk sistem aliran pada inlet dan out let prototipe direncanakan agar tidak terdapat pressure drop pada sistem keluaran gas buang motor diesel, karena dengan menghindari Pressure drop maka performance motor diesel tidak terpengaruh.

Kecepatan gas linier harus rendah dan dalam daerah hokum stokes untuk menghindari efek turbulensi dalam ruangan diantara electrode. Dalam hal ini kecepatan gas buang dalam ruangan elektrode di batasi 1 – 2 m/s.

Untuk merencanakan dimensi dari ESP kita terlebih dahulu mengetahui seberapa kapasitas/Q dari gas buang yang dihasilkan (volume/waktu), dimana secara matematis didapat :

$$Q = A v \dots\dots(m^3/hr)$$

Dalam hal ini besar dari kecepatan gas buang/v dalam elektrostatis precipitation harus sesuai dengan hukum stokes. Pada kondisi normal kecepatan gas dalam ESP berkisar 1 – 2 m/s.

3.1.2 Bentuk, Susunan dan Luasan Elektrode Pengumpul Dan Elektrode Discharge

Sedangkan dalam bentuk dan susunan elektrode wire-plate, dimana wire sebagai elektrode pemuatan dan plate sebagai elektrode pengumpul partikel. Untuk jarak antara elektrode akan berpengaruh pada besar tegangan yang disupply oleh power supply, karena semakin besar jarak antara elektroda akan bertambah pula tegangan yang dibutuhkan.

Penyusunan elektrode-elektrode ini didasarkan pada type ESP satu tingkat dimana elektrode pengumpul dan elektrode pemuat terletak pada satu ruangan/daerah. Sehingga proses pemuatan listrik dan pengumpulan partikel terjadi secara bersamaan dalam satu tempat.

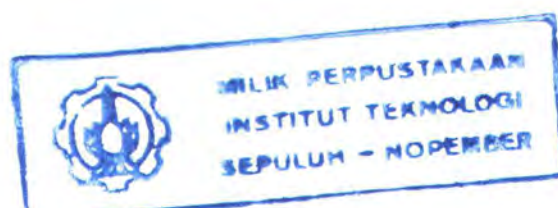
3.1.3 Besar tegangan yang terjadi pada elektroda.

Hal ini berpengaruh pada perencanaan kelistrikan power supply. Dalam perencanaan power supply dibuat uot put DC tegangan tinggi. Hal ini untuk membangkitkan medan listrik elektrostatis diantara elektrode.

Untuk besar tegangan yang digunakan sangat bergantung pada bentuk elektroda discharge dan platte pengumpul, jarak antara elektroda serta jumlah dan susunan elektroda yang di rencanakan.

3.1.4 Instalasinya pada motor diesel

Pada sistem instalasinya direncanakan suatu prototipe yang mudah dipasang dan di lepas pada sistem keluran gas buang motor diesel hal ini disesuaikan untuk



keperluan eksperimen dan kalibrasi prototype, serta kemudahan dalam perawatan dan pemeliharanya.

3.1.5 Material atau bahan dari elektrode dan isolatornya.

Pada pemilihan material bahan elektrode, khususnya elektrode pemuat (wire) dipilih berdasarkan pertimbangan pada tegangan tinggi mampu memancarkan elektron pada kondisi suhu tinggi (400°C). Sedangkan pada elektrode plate juga dipilih material yang mampu menghantarkan listrik pada suhu tinggi.

Pada pemilihan bahan isolator antara Wire dan plate dipertimbangkan bahan isolator yang tahan juga terhadap temperatur tinggi.

Unjuk kerja dari ESP merupakan fungsi dari karakteristik gas dan partikel-partikel yang terkandung, desain dari system saluran serta kecepatan gas buang yang akan dipindahkan.

3.1.6 Pertimbangan kecepatan gas.

Dalam perencanaan ESP ini diasumsikan bahwa partikel-partikel adalah:

- Secara geometris berbentuk bola
- Jarak antar partikel adalah besar dibandingkan dengan diameter partikel.
- Konsentrasi ion dan medan listrik adalah diasumsikan merata
- Tidak ada pengaruh pada proses pemuatan pada satu partikel oleh medan dari partikel yang bermuatan lainnya.

3.2. PERAKITAN DAN PEMBUATAN

Adapun komponen yang akan dibuat adalah :

- ❑ elektroda discharge (kawat)
- ❑ elektroda pengumpul(plat)
- ❑ isolator

- ❑ casing dari elektroda (penutup dari elektroda)
- ❑ Power supply DC high voltage

3.2.1 Perakitan dan pembuatan susunan elektroda didalam prototipe

Dilakukan dengan merakit seluruh komponen elektroda dan isolatornya sesuai dengan desain yang telah dibuat. Untuk elektroda kawat sebagai elektroda pemuat(discharge) digunakan kawat dari senar gitar dengan ukuran diameter sekitar 0.13 mm. Dipilih kawat dari senar gitar dikarenakan permukaan kawat halus, serta bahan kawat terbuat dari kawat baja yang baik sebagai penghantar serta sebagai elektroda discharge,

Sedangkan pada elektroda colector(pengumpul) dipilih juga plat tipis dengan tebal sekitar 0.8 mm dan lebar 20 mm, bahan dari plat ini terbuat dari bahan besi baja.

Untuk isolator antara elektroda dan tutupnya digunakan Asbes, dipilih asbes dikarenakan asbes memiliki ketahanan pada suhu tinggi, dan merupakan isolator yang baik serta ekonomis.

3.2.2 Pembuatan casing atau tutup elektroda .

Dalam pembuatan casing ini memperhatikan desain untuk memudahkan kepentingan pengujian atau kalibrasi nantinya, serta kemudahanya dalam penginstalannya pada motor dieseln nantinya.

3.2.3 Perakitan power supllly DC tegangan tinggi

Nantinya direncanakan dibuat tegangan output yang dapat di set sesuai dengan perencanaan dan kebutuhan pengujian, agar didapat tegangan yang ideal dan efisien.

Dalam pembuatan power supllly high voltage DC digunakan rangkaian *KASKADE GREINACHER*. Rangkaian ini dikemukakan oleh H. Greinacher yahun

1927, rangkaian ini disebut pengali tegangan Cockroft-Walton dan merupakan cara terpenting untuk membangkitkan tegangan searah(DC) yang sangat tinggi. Rangkaian ini menggunakan source (in put) dari tegangan jala-jala PLN 220-240 volt AC, yang nantinya ditingkatkan tegangannya hingga beberapa kali lipat dengan menggunakan beberapa kapasitor dan disearahkan (DC) dengan beberapa diode penyearah.

3.3. PROSES KALIBRASI DAN PENGUJIAN PROTOTYPE.

Pada proses terdapan tahapan yang nantinya akan dilakukan yaitu:

□ Tahap persiapan

Pada tahap ini dilakukan persiapan pengujian dengan mempersiapkan seluruh komponen alat ukur dan peralatan lainnya termasuk persiapan pada motor diesel, dan prototipe secara keseluruhan

Mempersiapkan prototype dengan baik sebelum dikalibrasi. Persiapan meliputi pemasangan fitting-fitting yang menghubungkan engine dengan prototype. Selain itu juga memeriksa instalasi prototype itu sendiri.

□ Tahap pengujian kandungan partikel smoke gas buang tanpa Prototype.

Untuk menentukan beban pada pengukuran emisi partikel smoke tanpa prototype, digunakan sistem 9-mode cycle. Siklus ini dirancang untuk mengukur polutan motor diesel pada engine test bed. Pengujian dengan menggunakan 9-mode ini terbagi ke dalam beban-beban pada putaran torsi maksimum dan daya maksimum. 9-mode cycle tes dilakukan pada sebuah engine dynamometer yang dioperasikan melalui urutan 9 kecepatan dan kondisi beban. Emisi gas buang diukur pada setiap mode. Dari hasil uji emisi tanpa prototype nantinya data tersebut sebagai acuan dan ukuran dari kandungan partikel smoke gas buang motor diesel tanpa prototype.

No. Mode	Speed	Load, %	Weighting Factors
1.	idle	-	0.20/3
2.	Maximum torque speed 100 %	50	0.08
3.		75	0.08
4.		100	0.08
5.	Idle	-	0.20/3
6.	Rated power speed	100	0.08
7.		75	0.08
8.		50	0.08
9.	idle	-	0.20/3

Table 3.2 9-mode cycle

□ Tahap pengujian dengan protipe.

Hal yang sama pula dilakukan dengan pengujian tanpa protipe dengan jalan melakukan uji emisi dengan metode 9-mode cycle test. Data yang didapat nantinya merupakan ukuran kandungan partikel smoke gas buang motor diesel pada tiap-tiap mode yang telah melewati proses pada prototipe.

Proses pengukuran kadar partikel padat pada gas buang dari pipa gas buang engine pada saat prototype tidak terpasang dan pengukuran kadar partikel padat pada sisi keluar gas pada prototype ESP pada saat prototype dipasang dengan engine.

➤ Langkah-langkah Pengukuran particulate matter gas buang Engine

Memeriksa Instalasi engine test bed.

- Memasang roda poli generator dan engine
- Menstart engine kira-kira 15 menit pada putaran idle speed tanpa beban
- Mengukur kadar partikel padat pada gas buang engine

➤ Langkah Pengukuran kadar partikel padat Prototipe terpasang pada engine

- Memeriksa Instalasi engine test bed
- Memasang roda poli generator dan engine
- Menghubungkan prototype ESP dengan listrik tegangan tinggi DC
- Menstart engine kira-kira 15 menit pada putaran idle speed tanpa beban.
- Mengukur kadar partikel padat pada gas buang keluar pada prototype ESP

3.4 HASIL KALIBRASI DAN PENGUJIAN PROTOTYPE

Data yang didapat dari pengujian kandungan particulate matter gas buang motor diesel, dengan menggunakan prototype ESP dan tanpa prototype ESP. Sehingga akan diketahui suatu hasil penurunan kadar Particulate matter gas buang setelah menggunakan prototype ESP dibanding dengan tanpa prototype tidak terpasang dengan engine

BAB IV
ANALISA DATA
DAN
PEMBAHASAN



FAKULTAS TEKNIK KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab analisa data dan pembahasan ini akan dipaparkan mengenai proses mulai dari perencanaan perhitungan awal, pembuatan gambar perencanaan awal, pembuatan prototype sampai tahap pengujian / kalibrasi. Setelah didapat hasil pengujian/kalibrasi prototype ESP terhadap penurunan kadar partikel padat gas buang maka akan dibahas mengenai persentase kemampuan penurunan prototype dan karakteristik dari kemampuan prototype ESP.

4.1 Perencanaan Dan Desain Prototype ESP.

4.1.1 Perhitungan Desain Prototype.

Prototype ESP direncanakan menggunakan type ESP satu tingkat, dimana proses penangkapan partikel padat dan paemauatan listrik terjadi pada satu tempat diantara electrode positif dan negatif. Sehingga pada daerah penagkapan terdapat plate pengikat prtikel-paretikel padat (sebagai *plate collector*) dan kawat sebagai penghasil corona dan pemuat listrik (*electrode discharge*).

Untuk menghitung dimensi dari Prototype sebelumnya kita haris mengetahui besar dari kapasitas gas buang motor diesel.

Perencanaan prototype ESP ini di rencanakan untuk motor diesel dengan spesifikasi :

Cylinder Bore	100 mm
Stroke	115 mm
Piston Displacement	0.903 liter
Speed	2000 rpm

Dalam perhitungan debit atau kapasitas gas buang motor diesels di hitung dengan pendekatan perhitungan secara matematis sebagai berikut :

Dari data motor diesel didapat kapasitas Q gas buang :

$$Q = k \times Pd \times Rpm \times 60$$

(k = 1 untuk 2 stroke, k = 0.5 untuk 4 stroke)

$$\text{Maka, } Q = 0.5 \times 0.903 \times 2000 \times 60$$

$$= 0.015046 \text{ m}^3/\text{s}$$

didapat besar debit gas buang maxsimal secara matematis adalah

$$Q = 0.015046 \text{ m}^3/\text{s}$$

Sehingga dalam penggunaanya direncanakan prototype ESP ini dapat berkerja secara efektif pada motor diesel dengan debit gas buang maksimal : $0.015046 \text{ m}^3/\text{s}$.

❖ Perhitungan dimensi ESP

Pada elektrostatis precipitator besar kecepatan gas normal dibatasi sebesar :

$v = 0 - 2.0 \text{ m/s}$. Maka dipilih sebesar $v = 1 \text{ m/s}$ untuk kecepatan gas masuk didalam ESP.

Sehingga luasan penampang ESP bila asumsi $v = 1 \text{ m/s}$,

A adalah :

$$\begin{aligned} A &= Q/v. \\ &= 0.0150 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

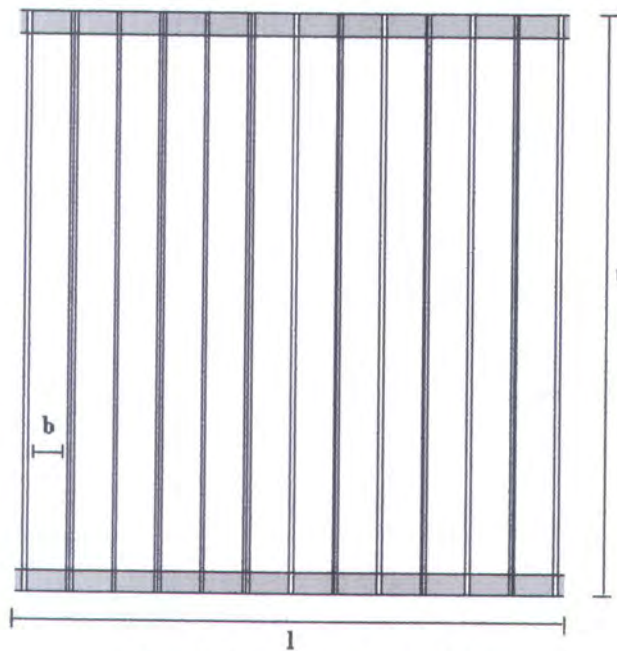
Untuk perencanaan jarak antara elektroda positif dan negatif dbirencanakan sebesar $b = 10 \text{ mm}$. Serta dalam satu kolom direncanakan terdapat 7 elektrode plat dan 6 elektroda kawat. Sehingga didapat lebar dari satu kolom adalah :

$$\begin{aligned} l &= b \times 0.5(N_p + N_k - 1) \\ &= 120 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka lebar dari tiap kolom ESP adalah 120 mm, oleh sebab itu tinggi dari ESP diperoleh dengan cara :

$$\begin{aligned}
 t &= A/l \\
 &= 0.0150/120 \\
 &= 125 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Secara lebih jelas dapat dilihat pada gambar dibawah :



Gbr.4.1 Penampang Luasan ESP

Adapun data awal sebelum perencanaan desain Prototypr adala sbb:

Cylinder Bore	100 mm
Stroke	115 mm
Piston Displacement	0.903 liter
Speed	2000 RPM
volume ruang bakar	0.000903 m ³
capacity gas buang	0.015046 m ³ /sec

Tabel 4.1 data spesifikasi ruang bakar diesel

Dari tabel 4.1 didapat nilai dari debit gas buang secara matematis sebesar 0.015 m³/s, dari besarnya kapasitas gas buang ini nantinya kita dapat menentukan besaran luasan penampang gas masuk ke prototype.

luasan penampang gas masuk	0.0150	m2
dengan kecepatan gas	1	m/s
jarak antar elektroda direncanakan	0.01	m
jumlah elektroda dalam satu colom :		
7	unit	plat
6	unit	kawat
lebar daerah penangkapan	0.12	m
tinggi daerah penangkapan	0.125	m
Direncanakan Panjang daerah penangkapan	0.27	m

Tabel 4.2 data dimensi awal prototype

Dari bebnerapa perhitungan dimensi diatas pada tabel 4.1 dan 4.2 didapat suatu dimensi dari daerah penangkapan yang terdapat plat penagkap dan kawat pemuat.

Dalam perencanaan akan dibuat desain dengan ukuran dari perhitungan tersebut, dan diharapkan dengan dimensi tersebut nantinya didapatkan suatu prototype yang mampu menurunkan kadar partikel padat gas buantg motor diesel dengan efisien.

Dalam perencanaan elektrode akan dihitung jumlah dari masing-masing elektrode sesuai dengan dimensi yang telah didapatkan sebelumnya serta susunannya pada daerah penangkapan partikel padat gas buang

kawat pemuat(discharge wire)				
1.	diameter (dw)	0.13	mm	
		0.00013	m	
	material	Senar gitar	Mild stell	baja
plat pengumpul(colector plate)				
2.	lebar	W	0.02	m
	tebal		0.001	m
	material	Plat tipis		baja

Tabel 4.3 Spesifikasi elektrode yang digunakan

Dari tabel tersebut maka didapat jumlah dari elektroda plate pengumpul pada daerah penangkapan adalah 77 buah plate penagkap

Dan 66 buah kawat discharge(pemuat). Untuk susunan elektrode pada daerah penangkapan dapat dilihat pada gambar desain dan perencanaan prototype ESP.

Pada dasarnya semakin banyak jumlah plate pengumpul pada daerah penangkapan maka pengaruhnya juga akan bertambah besar area penangkapan pada plate penangkap sehingga efisiensi pengumpulan partikel padat gas buang juga akan bertambah.dalam halini perencanaan dan pembuatan disesuaikan dengan perhitungan pada tabel.

4.1.2 Perencanaan Kelistrikan Dan Power Suplly DC High Voltage

Dari perencanaan ESP ini digunakan kawat elektroda sebagai kawat discharge dengan diameter $D1 = 0.13 \text{ mm}$.

Dengan demikian dapat diperoleh besar jari jari dari corona dengan menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} R_c &= R1 + 0.03 \cdot R1^{0.5} \\ &= 0.072648529 \text{ mm} \end{aligned}$$

kuat medan listrik pada corona adalah :

$$\begin{aligned} E_c &= 3 \cdot 10^6 f \frac{T_0 P}{T P_0} + 0.03 \left(\frac{T_0 P}{T P_0 r_c} \right)^{0.5} \\ &= 2073430 \text{ volt/m} \end{aligned}$$

apabila telah direncanakan jarak antara elektroda adalah 10 mm maka besar dari tegangan kritis pada corona adalah :

$$\begin{aligned} V_c &= E_c R_c \ln (b/R_w) \\ &= 3204 \text{ volt} \end{aligned}$$

tegangan yang dipakai harus lebih besar dari tegangan kritis korona tetapi tidak boleh terlalu besar untuk menghindari adanya BACK CORONA atau percikan (busur api)

dengan demikian besar tegangan pada kawat elektroda adalah :

$$V1 = Vc + Ec \frac{Rc^2 - R1^2}{2R1}$$

$$V1 = 3204 + 2073430 \frac{0.07265^2 - (0.13/2)^2}{0.13}$$

$$= 3921 \text{ volt}$$

Perhitungan Arus Dan Muatan Partikel

Dalam perhitungan arus dan muatan partikel digunakan persamaan :

$$I = 2\mu_i \epsilon_o \frac{V1(V1 - Vo)}{Rc^2 \ln(Rc / R1)}$$

dalam hal ini μ_i = mobilitas udara $1.36 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ V}^{-1}$

ϵ_o = permitivitas udara, sebesar $8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$

mobilitas ion gas, sebesar $1.36 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ V}^{-1}$

b = jarak antara elektroda positif dan negatif

$$\text{maka, } I = 8\pi 8.85 \times 10^{-12} \times 1.36 \times 10^{-4} \frac{3921(3921 - 3204)}{0.01^2 \ln(0.01/0.073)}$$

$$= 3.11233\text{E-}08 \text{ A/m}$$

setelah didapat perencanaan dari dimensi serta jumlah dan susunan elektyroda, selanjutnya direncanakan sistem kelistrikan yang dibutuhkan oleh Prototipe sebagai power supply utama.

Berdasarkan pada spesifikasi elektrode, khususnya elektrode pemuat dan jarak antara elektrode maka didapat suatu perencanaan kelistrikan untuk prototype.

jari jari Korona/Rc	0.073	mm
medan kritis untuk menghasilkan korona		
Eo	2073430	V/m
tegangan yang diperlukan untuk membangkitkan korona		
Vo	3204	volt
tegangan pada permukaan kawat		
Vw	3921	volt
arus yang dibutuhkan		
I	3.11233E-08	A/m

Tabel 4.3 perencanaan supply listrik

4.1.3 Material Pembuat Prototype ESP.

Pada pemilihan material penyusun atau material utama prototype ini menggunakan bahan-bahan yang seefisien mungkin tanpa mengurangi tujuan dan fungsi dari prototype.

Pemilihan material atau bahan-bahan penyusun prototype ini terdapat tiga komponen dari prototype yang perlu diperhatikan dalam penentuan meterialnya yakni :

- Material elektrode pengumpul (plate colector)
- Material elektrode pemuatan listrik (wire Discharge)
- Meterial isolator.
- Meterial tutup/casing prototype

4.1.3.1 Material elektrode pengumpul (plate colector).

Untuk pemilihan dan penentuan plate colector ini dipertimbangkan kemudahan mendapatkan material, kemudahan perakitan elektrode, serta ketahanan material pada suhu tinggi gas buang motor diesel. Hal utama dalam penentuan material ini adalah material merupakan konduktor yang mampu menghantarkan listrik pada suhu tinggi. Sehingga dalam hal ini digunakan material plate elektrode pengumpul adalah plate tipis (0.05 mm) dengan lebar 20 mm berbahan besi



Gbr. 4.1.3.2 material elektrode pengumpul (plate collector)

4.1.3.2 Material elektrode pemuatan listrik (wire Discharge).

Penentuan material bahan untuk Material elektrode pemuatan listrik (wire Discharge) dipertimbangkan pada konduktor listrik yang mampu berkerja pada suhu tinggi serta berpermukaan halus dengan diameter penampang kawat yang kurang lebih 0.13 mm.

Untuk hal tersebut maka dipilihlah kawat senar gitar sebagai Material elektrode pemuatan listrik (wire Discharge). Kawat tersebut berbahan besi baja lunak dan berpermukaan halus dengan diameter sekitar 0.13 mm.



Gbr 4.1.3.2 Material elektrode pemuatan listrik (wire Discharge)

4.1.3.3 Meterial isolator.

Isolator ini merupakan bahan yang tidak bisa menghantarkan listrik, dalam penentuan isolator yang tepat untuk pemisah antara elektrode prototrype ini dipilih bahan isolator yang tahan terhadap suhu tinggi dari gas buang, maka dipilihlah

isolator dari bahan Asbes. Disamping pertimbangan tersebut juga dipertimbangkan kemudahan pemasangannya pada susunan elektrode-elektrode prototype.

Fungsi dari isolator ini adalah sebagai pengisolator listrik yang ada pada elektroda-elektroda agar tidak terjadi hub pendek antara elektrode serta agar tidak ada kontak antara elektroda dengan tutup/casing prototype. Sehingga keamanan dan kenyamanan orang dapat terjaga.



Gbr 4.1.3.3 Asbes sebagai Material isolator

4.1.3.4 Material tutup/casing prototype.

Tutup ini berfungsi untuk melindungi dan sebagai tempat dari elektrode. Tutup/casing dari prototype ini juga direncanakan agar gas buang motor diesel hanya bisa keluar lewat pipa out let prototype saja. Dalam pemilihan material bahan tutup dipilih bahan yang tahan terhadap suhu tinggi tahan terhadap tekanan serta kuat, maka dipilihlah bahan terbuat dari plate besi lunak dengan tebal 3 mm. Bahan tersebut kemudian dibuat tutup sesuai dengan bentuk dan perencanaan tutup prototype.

4.2 PEMBUATAN PROTOTYPE

Setelah melakukan perhitungan untuk dimensi yang dibutuhkan maka merencanakan gambar-gambar desain prototype dan untuk kemudian masuk ke tahap pembuatan prototype.

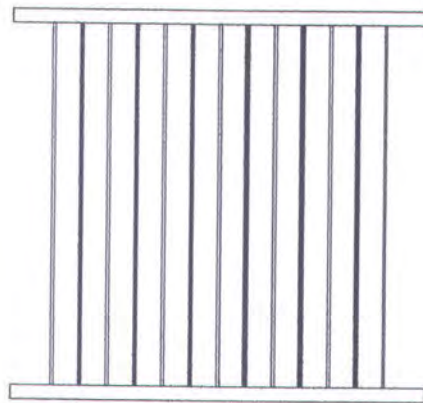
Pada pembuatan prototype ini terdapat 3 komponen utama,yaitu :

- penyusunan elektroda,
- pembuatan tutup (casing elektrode).
- power supply listrik DC high voltage.

4.2.1 Penyusunan Elektrode.

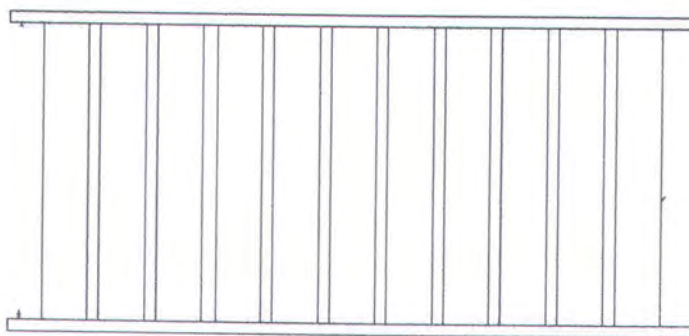
Dalam penyusunan elektrode didasarkan pada type dari penangkapan partikel padat yang menggunakan sistem satu tingkat, dimana elektrode pemuat listrik dan elektrode pengumpul terletak pada satu daerah.

Berikut bentuk dari susunan elektrode-elektrode:

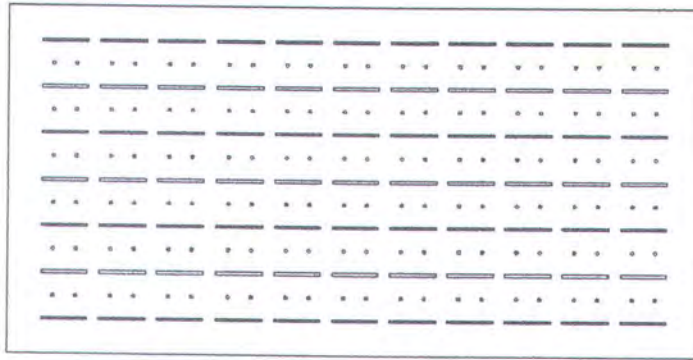


penampang depan dari susunan elektroda kawat dan plat

Gbr. 4.2 penampang depan susunan elektrode.



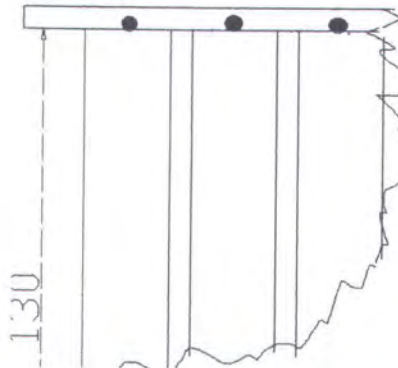
Gbr. 4.3 penampang samping susunan elektrode



Gbr.4.4 Penampang atas susunan elektrode

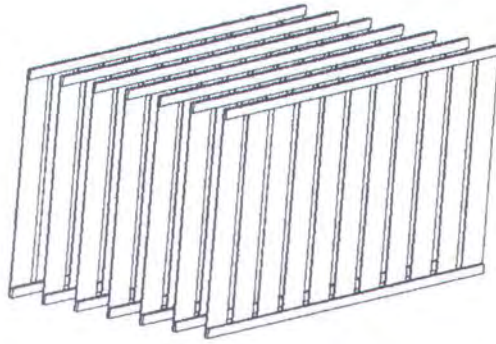
Dalam perakitan dan pembuatan susunan elektrode terlebih mmbuat potongan plate dengan ukuran pelat tipis dengan lebar 20 mm, panjang 130 mm, sebanyak 77 buah.

Pada ujung-ujung plat di bor dengan diameter 3 mm untuk mengikat diantara plate elektrode pengumpul



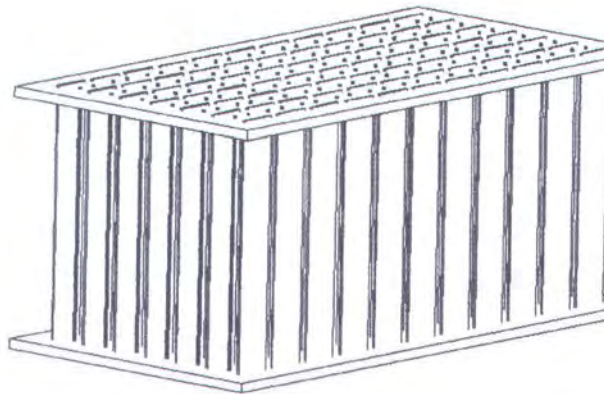
Gbr. 4.5 pengikatan plate elektrode pengumpul.

Seluruh elektrode plate pengumpul yang berjumlah 77 buah dikat menjadi satu membentuk kolom dengan 7 lajur dimana dalam satu lajur terdapat 11 plate pengumpul.



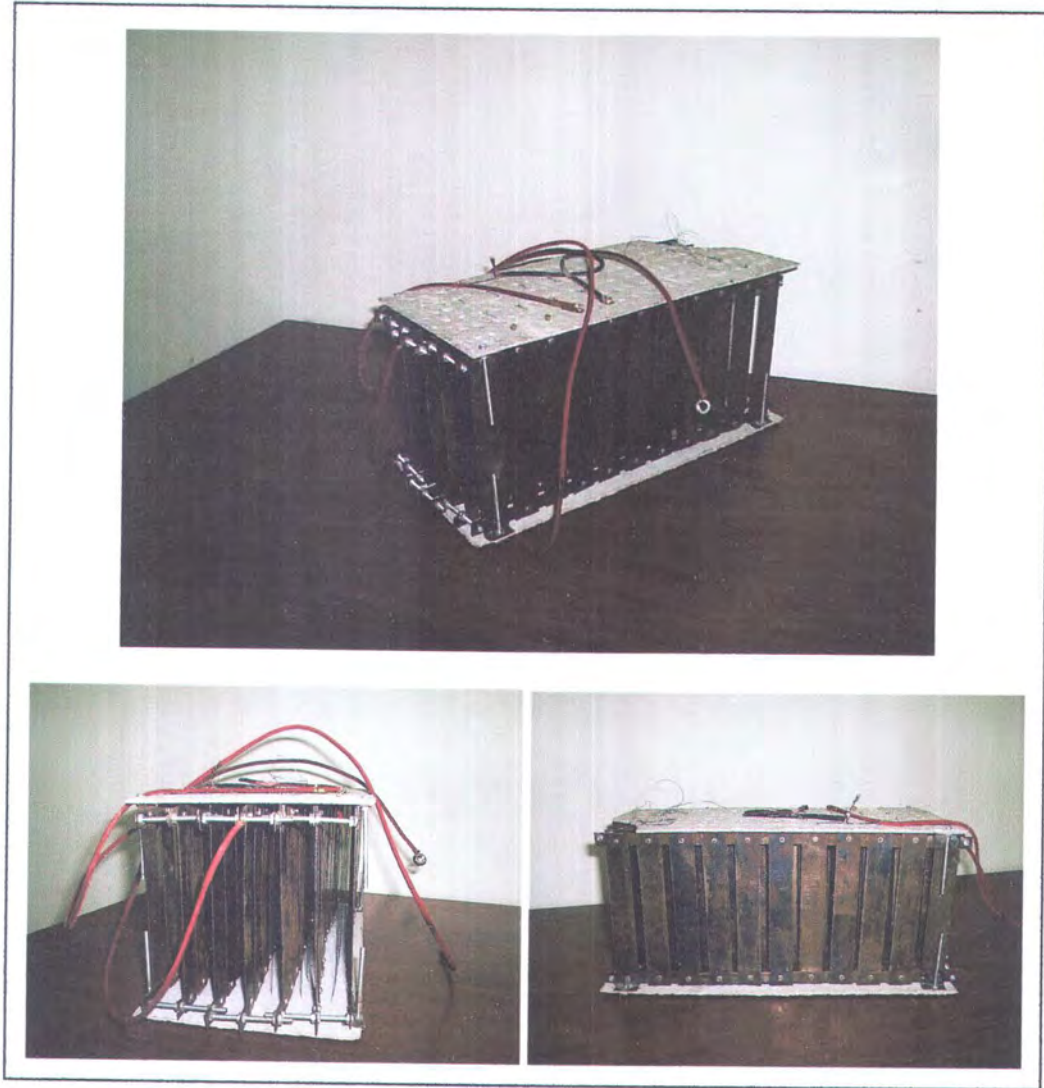
Gbr. 4.6 susunan elektrode plate pengumpul

Setelah seluruh plate tersusun baru pemasangan isolator sebagai isolator antara plate elektrode dan kawat discharge sehingga tidak terjadi hub anantara elektroda.pada isolator asbes tersebut sebelumnya dibuat lubang-lubang untuk tempat kawat elektrode. Pemasangannya pada masing-masing bagian atas susunan plate elektrode. Kemudian penyusunan kawat-kawat elektrode discharge.



Gbr.4.7 susunan seluruh elektrode.

Secara keseluruhan perakitan dan penyusunan elektrode dihasilkan gambaran sebenarnya sebagai berikut :



Gbr. 4.8 Susunan Elektrode Prototype.

4.2.2 Pembuatan tutup (casing elektrode).

Pada pembuatan tutup direncanakan suatu tutup yang mudah dalam peletakan dan pemasangan elektrode didalam tutup tersebut sehingga untuk keperluan uji coba dan kalibrasi Prototype dibuat suatu tutup yang compatible dimana dapat dibuka bagian-bagian yang kiranya dibutuhkan.terdapat tiga bagian utama tutup/ casing elektroda yaitu:

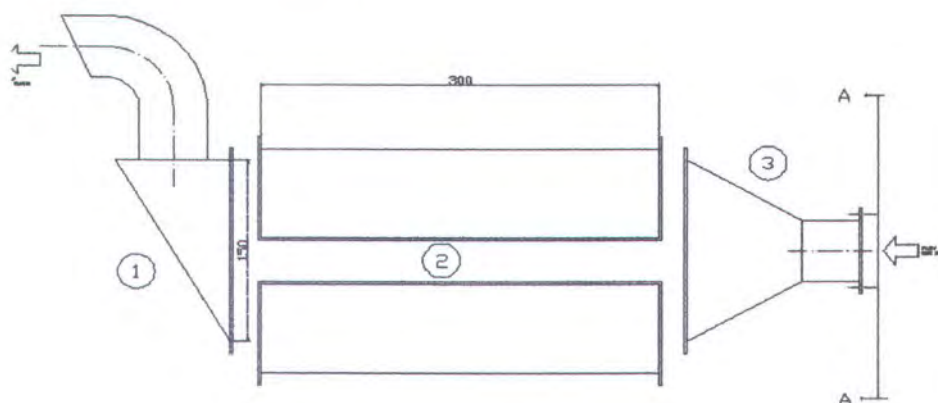
- ❑ Bagian inlet gas buang
- ❑ Bagian tengah (tempat elektrode)

□ Bagian out let gas buang

Bagian In Let Gas Buang (No. 3)			
panjang	(menyesuaikan)		
ukuran penampang	Tinggi	15	cm
	Lebar	15	cm
diameter inlet gas buang (menyesuaikan ukuran diameter keluaran silincer motor diesel)			
Bagian Tengah Casing (No. 2)			
panjang		30	cm
pukuran penampang	Tinggi	15	cm
	Lebar	15	cm
penampang berbentuk kotak memanjang			
Bagian Out Let Prototype (No. 1)			
panjang			
ukuran penampang	Tinggi	15	cm
	Lebar	15	cm
diameter out let	menyesuaikan diameter inlet		

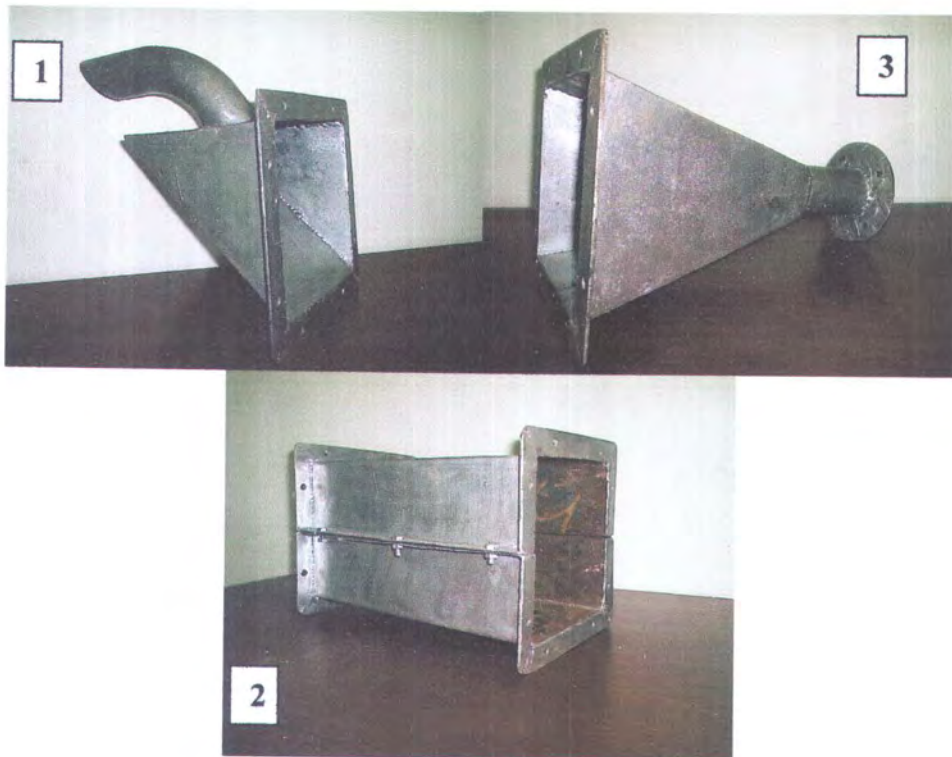
Tabel 4.4 spesifikasi tutup elektrode

Ukuran dari tutup / casing elektrode disesuaikan dengan ukuran susunan elektrode dimana ukuranya lebih besar agar elektrode bisa lebih mudah masuk dan di pasang didalam casing. Perlu diperhatikan juga dalam perencanaan tutup prototype disyaratkan agar tidak terjadi pressuru drop, karena dengan demikian maka performance engine tidak terpengaruh.

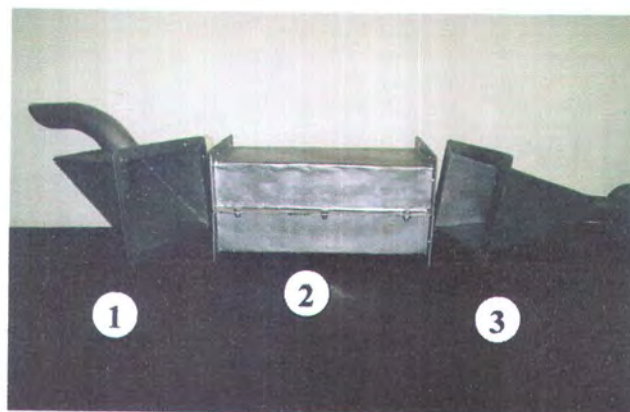


Gbr. 4.9 desain awal tutup elektrode

Pada proses pembuatan digunakan material dari plate besi dengan tebal kurang lebih / ± 2 mm. Untuk mengambungkan seluruh komponen tutup digunakan baut-baut yang dipasangkan pada sambungan antara komponen tutup prototype tersebut.



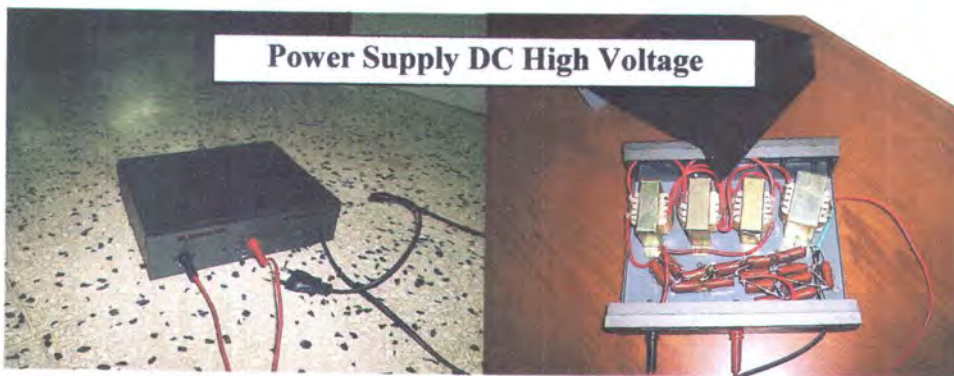
Gbr.4.10 tutup prototype terpisah



gbr 4.11 tutup prototype.

4.2.3 Power Supply DC High Voltage.

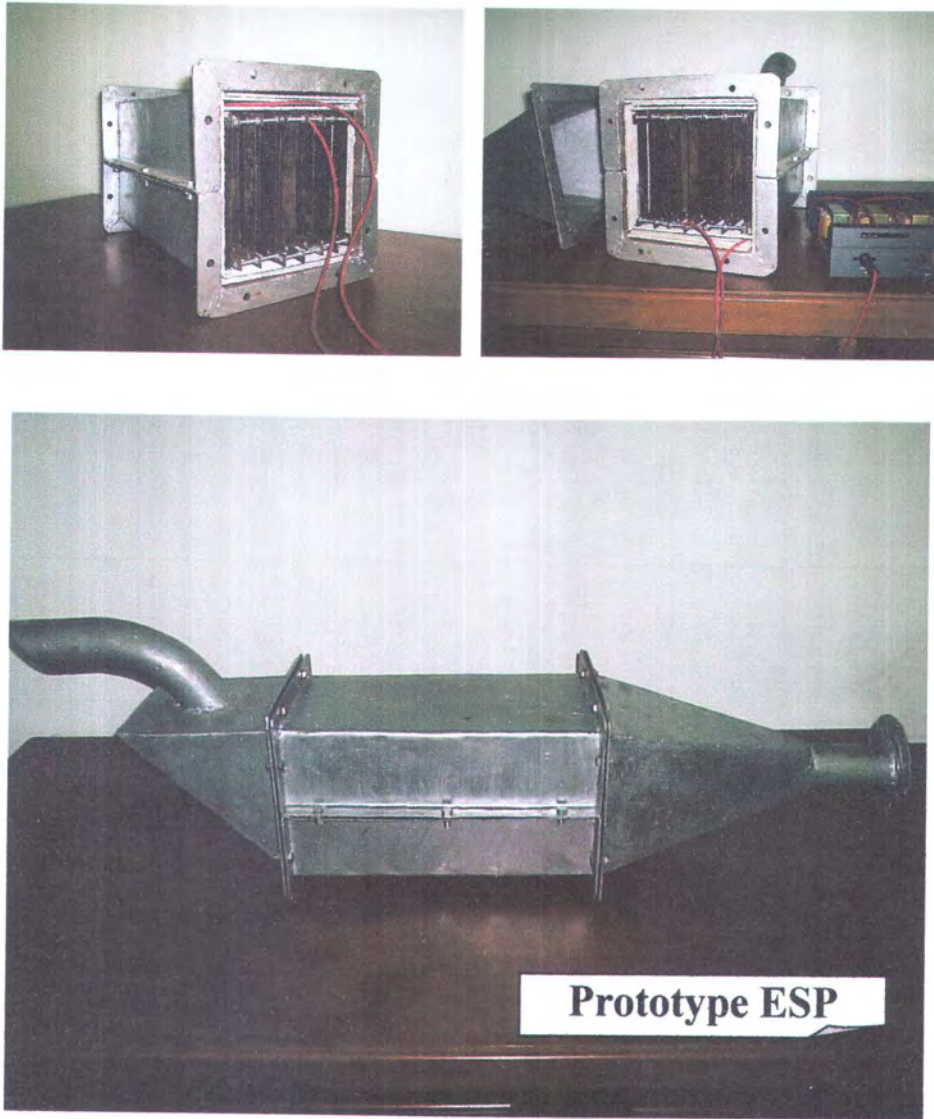
Untuk pembuatan power supply DC tegangan tinggi dalam perencanaan awal dibutuhkan sekitar ± 3900 volt namun dalam perakitan dibuat besaran output tegangan hingga ± 10000 volt, hal ini untuk mengetahui seberapa besar dan efisiensi tegangan yang dapat digunakan dalam prototype dalam mengurangi kadar partikel padat gas buang.



Gbr.4.12 power supply DC teg. Tinggi.

secara teknis tegangan meningkat diakibatkan terdapat rangkaian pengali tegangan jala-jala PLN (AC 220-240 volt), dimana sebelumnya oleh transformator tegangan 220-240 volt ditingkatkan menjadi 3 kali lipat, kemudian oleh kapasitor hingga 15 kali dan disearahkan (DC) oleh diode-diode. Keluaran yang didapat oleh power supply ini adalah lebih dari 10000 volt.

Keseluruhan proses pembuatan dan perakitan prototype dihasilkan suatu prototype ESP dengan berpedoman pada perencanaan dan desain awal prototype ESP, dengan tujuan untuk menurunkan kadar partikel padat gas buang motor diesel.



Gbr.4.13 Prototype ESP.

4.3 KALIBRASI.

4.3.1 Kalibrasi Motor diesel

Sebelum melakukan kalibrasi prototype terlebih dahulu Motor diesel dilakukan kalibrasi. Dari kalibrasi engine didapat data sebagai berikut:

Putaran 2300 RPM

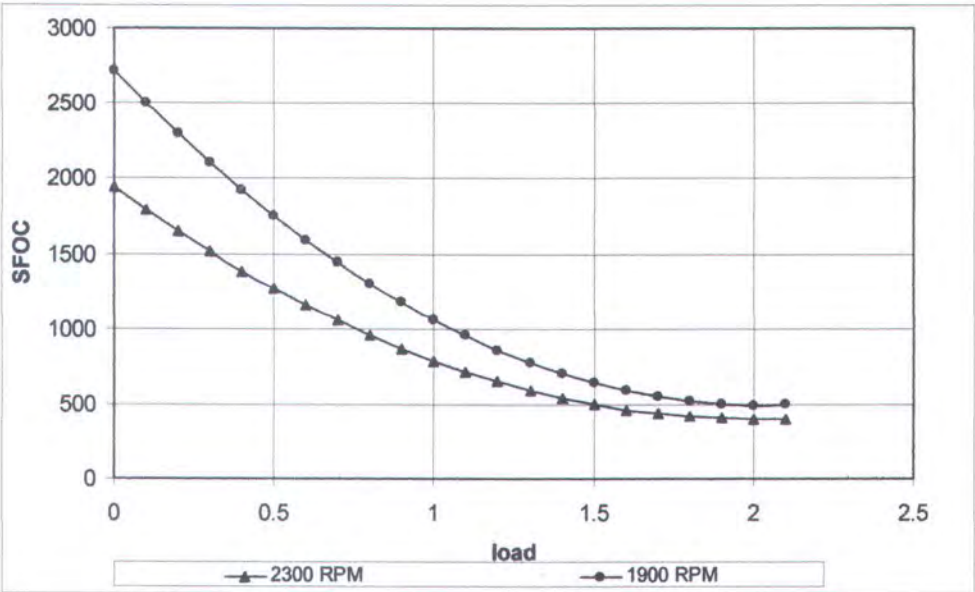
Daya (kW)	SFOC (gram/kWh)	Torsi (Kg.m)
0	1942.50	0
0.1	1792.36	0.04
0.2	1649.90	0.08
0.3	1515.11	0.12
0.4	1387.98	0.16
0.5	1268.54	0.20
0.6	1156.76	0.25
0.7	1052.65	0.29
0.8	956.21	0.33
0.9	867.45	0.37
1	786.36	0.41
1.1	712.93	0.45
1.2	647.18	0.50
1.3	589.10	0.54
1.4	538.69	0.58
1.5	495.96	0.62
1.6	460.89	0.66
1.7	433.49	0.70
1.8	413.77	0.75
1.9	401.72	0.79
2	397.34	0.83
2.1	400.62	0.87

Tabel 4.5 kalibrasi motor diesel pada 2300 RPM

Putaran 1900 RPM

Daya (kW)	SFOC (gram/kWh)	Torsi (Kg.m)
0	2713.10	0
0.1	2498.77	0.05
0.2	2295.30	0.10
0.3	2102.70	0.15
0.4	1920.96	0.20
0.5	1750.09	0.25
0.6	1590.07	0.30
0.7	1440.92	0.35
0.8	1302.64	0.40
0.9	1175.21	0.45
1	1058.66	0.50
1.1	952.96	0.55
1.2	858.13	0.60
1.3	774.16	0.65
1.4	701.05	0.70
1.5	638.81	0.75
1.6	587.42	0.80
1.7	546.91	0.85
1.8	517.25	0.90
1.9	498.46	0.95
2	490.54	1.01
2.1	493.47	1.06

Tabel 4.5 kalibrasi motor diesel pada 1900 RPM



Gbr.4.13 grafik hub. Antara konsumsi bahan bakar spesifikasi dengan beban

Dari grafik diatas maka akan dicari beban penuh (full load) tiap putaran :

No.	Speed (RPM)	Persentase Beban % load	Beban (Watt)
1	550	Idle	0
2	1900	10	350
3	1900	25	875
4	1900	50	1750
5	1900	75	2625
6	1900	100	3500
7	550	Idle	0
8	2300	100	4500
9	2300	75	3375
10	2300	50	2250
11	2300	25	1125
12	2300	10	450
13	550	Idle	0

Tabel 4.7 pembebanasn pada beberapa kondisi putaran (RPM)

4.3.2 Kalibrasi motor diesel dengan prototype ESP terpasang.

Pada 1900 rpm

Daya (kW)	SFOC (gram/kWh)	Torsi Kg.m
0	2281.10	0.00
0.1	2109.82	0.04
0.2	1946.97	0.08
0.3	1792.54	0.13
0.4	1646.54	0.17
0.5	1508.96	0.21
0.6	1379.81	0.25
0.7	1259.08	0.29
0.8	1146.78	0.33
0.9	1042.90	0.38
1	947.45	0.42
1.1	860.42	0.46
1.2	781.82	0.50
1.3	711.64	0.54
1.4	649.89	0.58
1.5	596.56	0.63
1.6	551.66	0.67
1.7	515.18	0.71
1.8	487.13	0.75
1.9	467.50	0.79
2	456.30	0.83
2.1	453.52	0.88
2.2	459.17	0.92

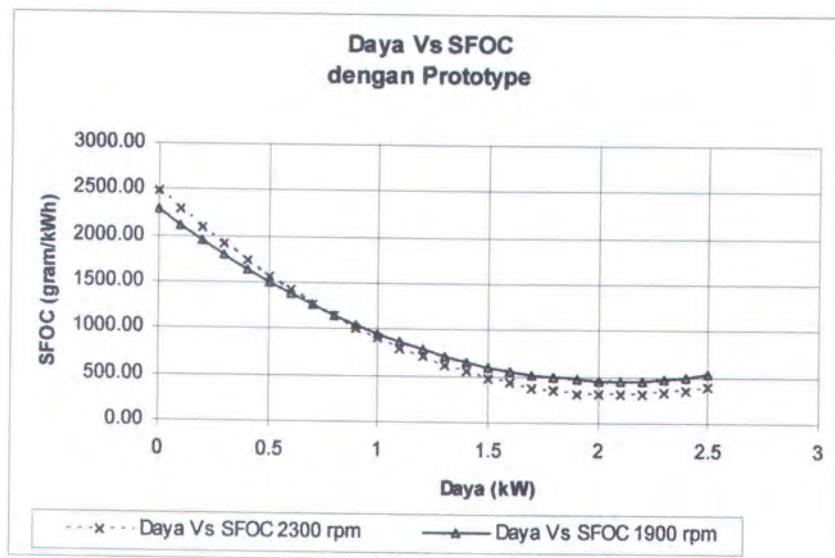
Tabel 4.3.2.1 performace enggine dengan prototype ESP pada 1900 rpm

Pada 2300 rpm

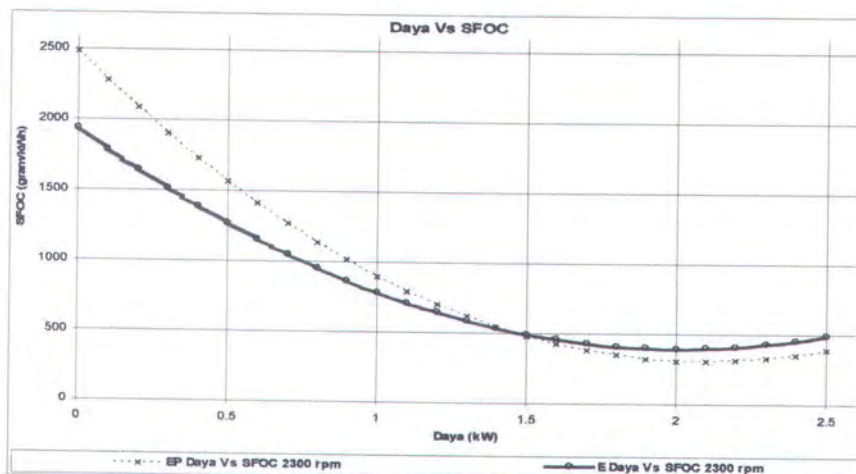
Daya (kW)	SFOC (gram/kWh)	Torsi Kg.m
0	2486.30	0.00
0.1	2282.58	0.04
0.2	2088.86	0.08
0.3	1905.12	0.13
0.4	1731.38	0.17
0.5	1567.62	0.21
0.6	1413.85	0.25
0.7	1270.08	0.29
0.8	1136.29	0.33
0.9	1012.49	0.38
1	898.68	0.42
1.1	794.86	0.46
1.2	701.03	0.50
1.3	617.19	0.54
1.4	543.34	0.58
1.5	479.48	0.63
1.6	425.61	0.67
1.7	381.73	0.71
1.8	347.84	0.75
1.9	323.93	0.79
2	310.02	0.83
2.1	306.10	0.88
2.2	312.16	0.92

Tabel 4.3.2.2 performace enggine dengan prototype ESP pada 2300 rpm

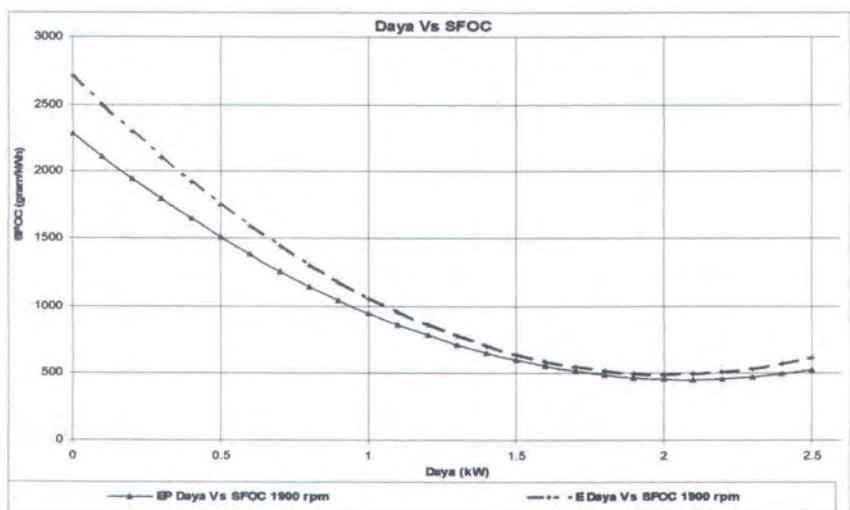
Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari penggunaan prototype ESP pada motor diesel, terutama pengaruh dari performancenya motor diesel.



gambar 4.3.2.1 SFOC engine dengan prototype



gambar 4.3.2.2 perbandinga SFOC engine dengan prototype pada 2300 rpm



gambar 4.3.2.2 perbandinga SFOC engine dengan prototype pada 1900 rpm

4.3.3 Uji Coba Dan Kalibrasi Prototype ESP.

Untuk mengetahui karaktetristik dari prototype dalam hal menurunkan kadar partikel padat gas buang motor diesel, dilakukan dengan jalan membandingkan kadar partikel padat gas buang motor diesel tanpa menggunakan prototype dan dengan memasang prototype. Untuk pengambilan atau pengukuran kadar partikel padat dilakukan pada kondisi beban seperti yang telah ditentukan pada Tabel 4.7 pembebanan pada beberapa kondisi putaran (RPM). Hasil pengukuran sample gas buang motor diesel adalah sebagai berikut.

Berikut kadar partikel padat gas buang tanpa menggunakan prototype ESP.

No.	Speed (RPM)	Persentase Beban % load	Beban (Watt)	Kadar partikel padat (mg/m ³)
1	550	Idle	0	75.555
2	1900	10	350	211.825
3	1900	25	875	276.667
4	1900	50	1750	555.926
5	1900	75	2625	757.778
6	1900	100	3500	1058.890
7	550	Idle	0	132.593
8	2300	100	4500	289.63
9	2300	75	3375	205.556
10	2300	50	2250	171.111
11	2300	25	1125	199.259
12	2300	10	450	236.296
13	550	Idle	0	161.852

Tabel 4.8 Kadar partikel padat gas buang motor diesel.

Dengan memasang prototype ESP pada saluran keluaran motor diesel, didapat kadar partikel padat gas buang sebagai berikut,

No.	Speed (RPM)	Persentase Beban (% load)	Beban (Watt)	Kadar partikel padat (mg/m ³)
1	550	Idle	0	88.8
2	1900	10	350	126.4
3	1900	25	875	166.8
4	1900	50	1750	134.8
5	1900	75	2625	107.2
6	1900	100	3500	70.4
7	550	Idle	0	34.4
8	2300	100	4500	172.4
9	2300	75	3375	131.2
10	2300	50	2250	116.8
11	2300	25	1125	94
12	2300	10	450	108.4
13	550	Idle	0	30.8

Tabel 4.9 Kadar partikel padat gas buang motor diesel dengan prototype ESP.

4.3.3.1 Presentasi penurunan kadar partikel padat gas buang.

Dari hasil pengukuran sampel gas buang motor diesel didapat prosentase penurunan kadar partikel padat gas buang dengan jalan membandingkan hasil dari kadar partikel padat gas buang tanpa dan dengan prototype ESP.

No	Speed (RPM)	(%beban)	Beban (Watt)	Kadar partikel padat (mg/m3)		Penurunan (mg/m3)	% penurunan
				Engine	Prototype		
1	550	Idle	0	75.56	88.80	-13.24	-17.53
2	1900	10	350	211.85	126.40	85.45	40.34
3	1900	25	875	276.67	166.80	109.87	39.71
4	1900	50	1750	555.93	134.80	421.13	75.75
5	1900	75	2625	757.78	107.20	650.58	85.85
6	1900	100	3500	1058.89	70.40	988.49	93.35
7	550	Idle	0	132.59	34.40	98.19	74.06
8	2300	100	4500	289.63	172.40	117.23	40.48
9	2300	75	3375	205.56	131.20	74.36	36.17
10	2300	50	2250	171.11	116.80	54.31	31.74
11	2300	25	1125	199.26	94.00	105.26	52.83
12	2300	10	450	236.30	108.40	127.90	54.13
13	550	Idle	0	161.85	30.80	131.05	80.97

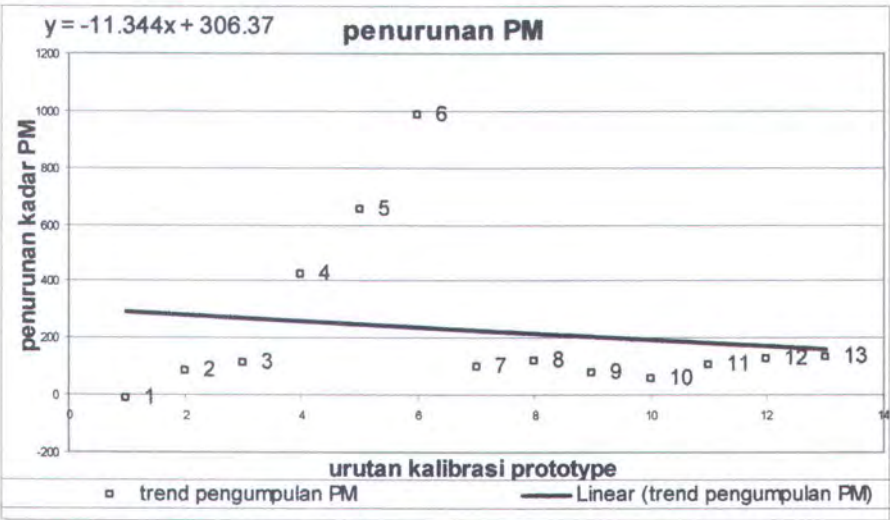
Tabel 4.9 presentase penurunan kadar partikel padat.

Dari tabel diatas dapat diketahui kadar partikel padat gas buang tiap satuan daya jam, sebagai berikut:

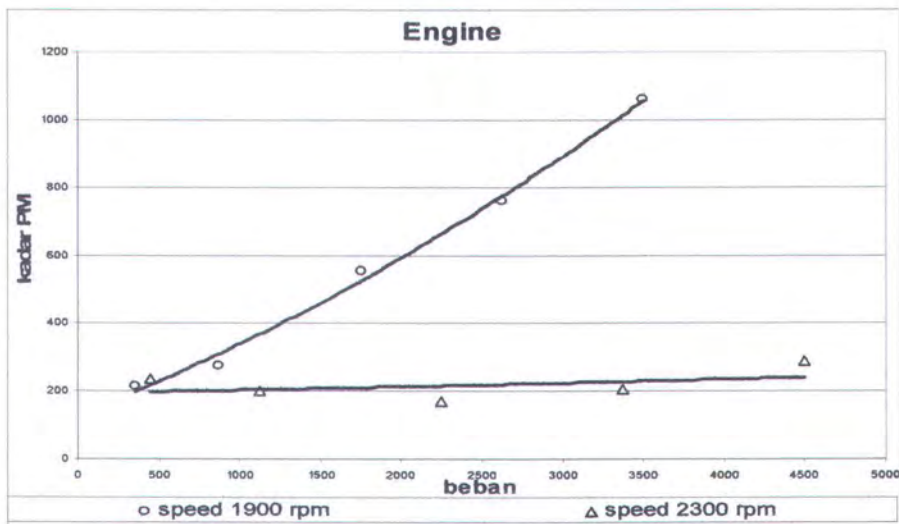
No.	Speed (RPM)	Beban (Watt)	Kadar partikel padat (mg/m3)		debit gas buang (m3/h)	jumlah partikel padat gas buang per kWh	
			Engine	Prototype ESP		Engine (mg/kWh)	Prototype (mg/kWh)
1	550	0	75.56	88.80	6.63168	-	-
2	1900	350	211.85	126.40	22.90944	17999.78	11527.51
3	1900	875	276.67	166.80	22.90944	9873.50	5962.12
4	1900	1750	555.93	134.80	22.90944	10735.53	2490.17
5	1900	2625	757.78	107.20	22.90944	10480.36	1374.36
6	1900	3500	1058.89	70.40	22.90944	11682.83	703.27
7	550	0	132.59	34.40	6.63168	-	-
8	2300	4500	289.63	172.40	27.73248	3030.69	1476.48
9	2300	3375	205.56	131.20	27.73248	2684.15	1435.59
10	2300	2250	171.11	116.80	27.73248	3117.15	1904.13
11	2300	1125	199.26	94.00	27.73248	6737.04	3165.80
12	2300	450	236.30	108.40	27.73248	19272.42	9662.71
13	550	0	161.85	30.80	6.63168	-	-

Tabel 4.10 jumlah PM tiap pemakaian satuan daya

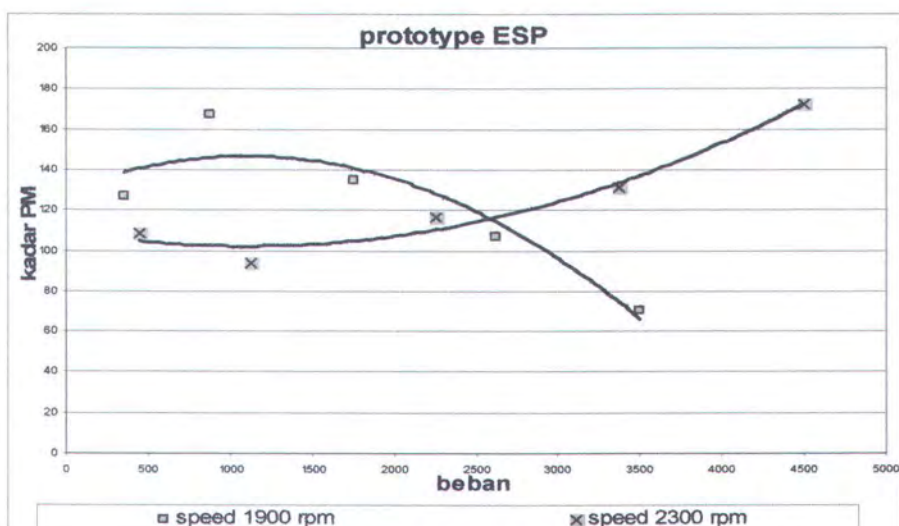
Dari tabel-tabel yang telah ada dapat dibuat suatu gambaran grafik yang dapat menerangkan mengenai kharakteristik prototype ESP pada motor diesel.



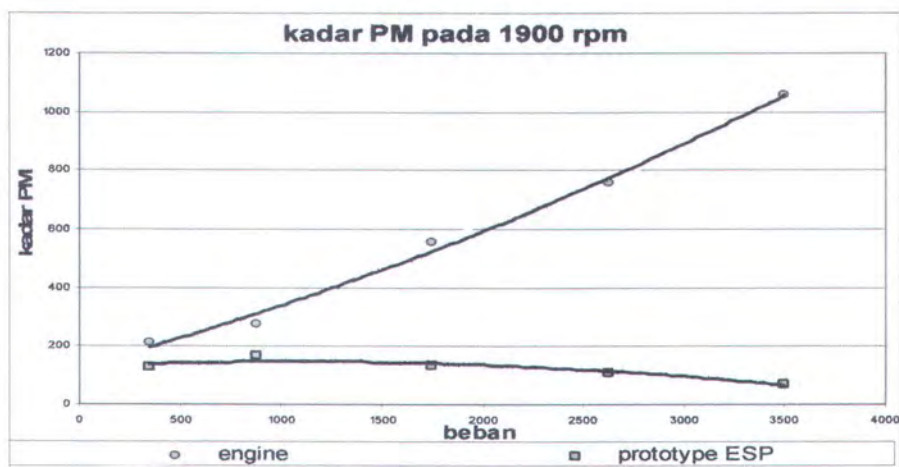
gambar 4.13 grafik urutan penurunan Kadar PM



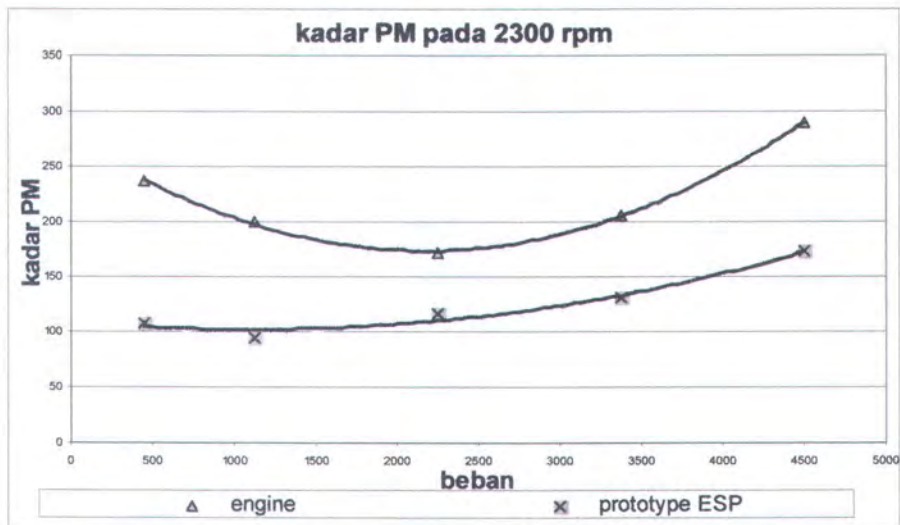
Gambar 4.14 grafik kadar PM pada engine tanpa prototype.



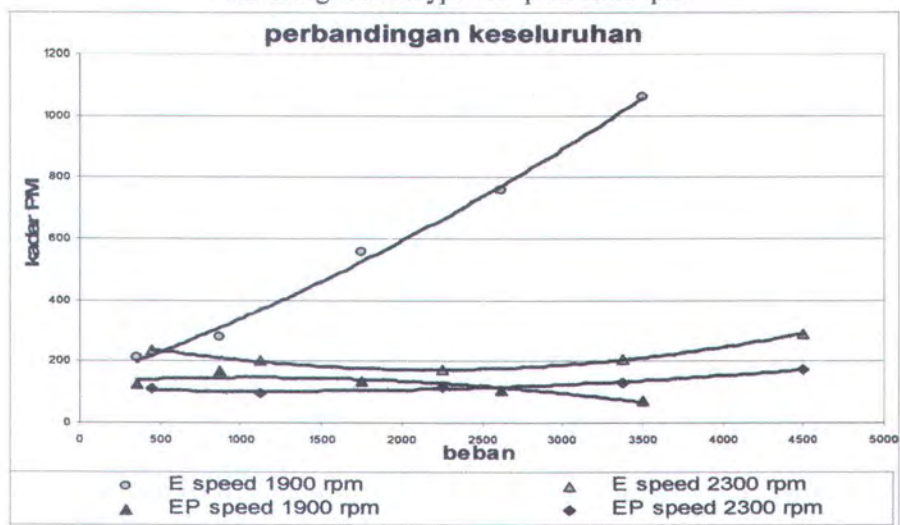
gambar 4.15 Grafik kadar PM dengan prototype ESP terpasang



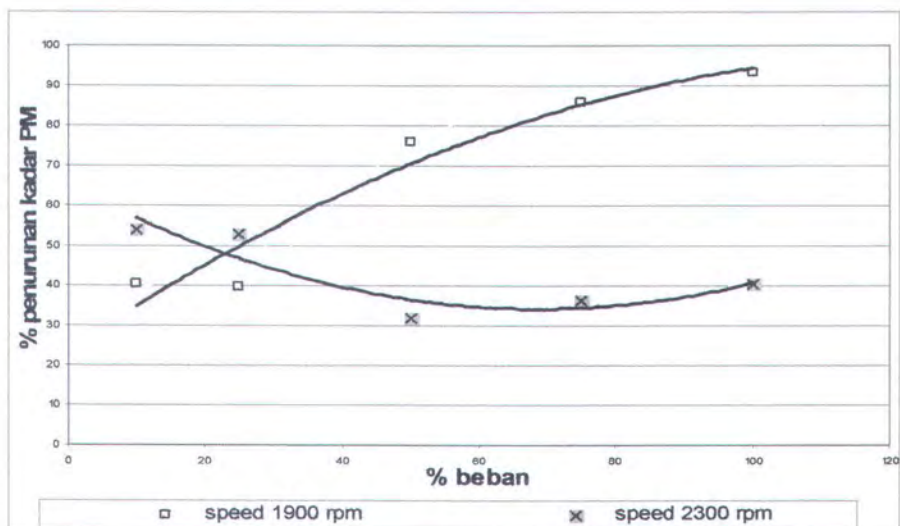
Gambar 4.16 Grafik perbandingan antara kadar PM engine dan Dengan Prototype ESP pada 1900 rpm



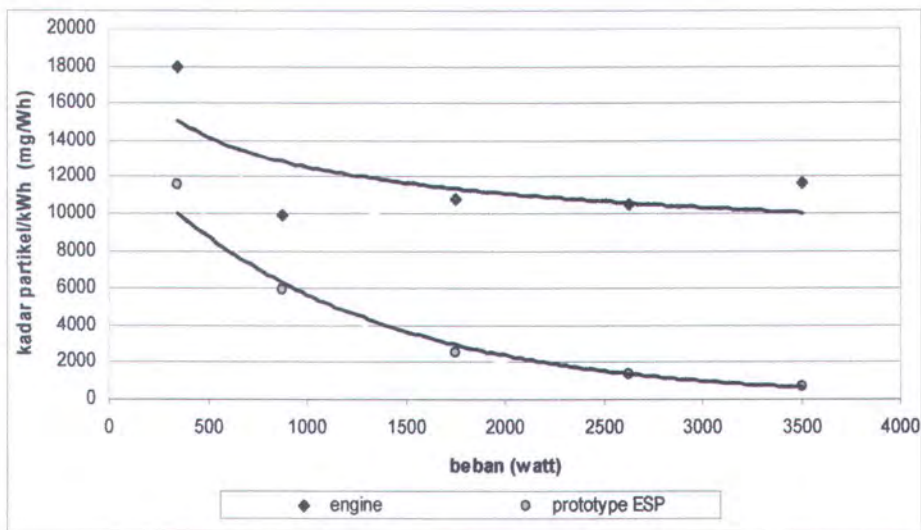
Gambar 4.17 Grafik perbandingan antara kadar PM engine dan Dengan Prototype ESP pada 2300 rpm



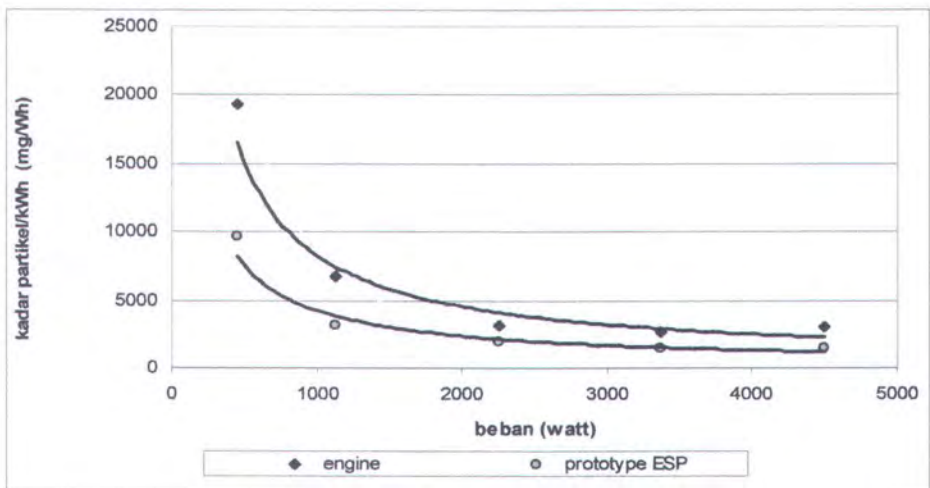
Gambar 4.18 Grafik perbandingan engine dan prototype ESP



gambar 4.19 grafik persentase penurunan



gambar 4.20 perbandingan jumlah PM/kWh pada 1900 rpm



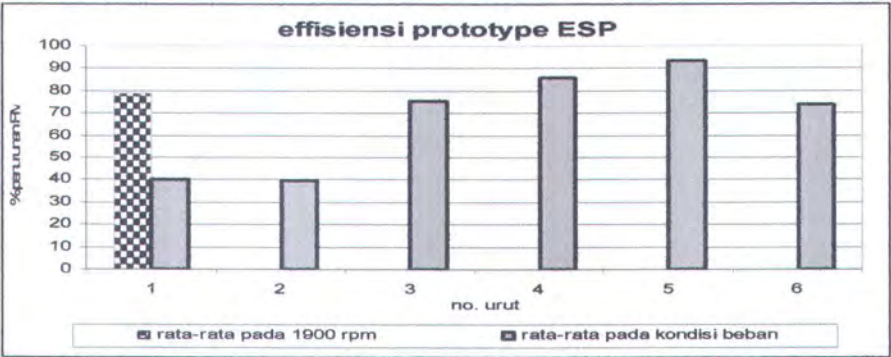
gambar 4.12 grafik perbandingan jumlah PM/kWh pada 2300 rpm.

4.3.3.2 Rata-rata penurunan partikel padat gas buang dengan prototype ESP.

Dengan mengacu dari hasil tabel penurunan partikel padat gas buang, maka dapat dibuat suatu tabel rata-rata penurunan prototype ESP, sebagai berikut:

No.	Speed (RPM)	(% beban)	Beban (Watt)	Kadar partikel padat (mg/m ³)		penurunan	% penurunan
				Engine	Prototype		
2	1900	10	350	211.85	126.40	85.45	40.34
3	1900	25	875	276.67	166.80	109.87	39.71
4	1900	50	1750	555.93	134.80	421.13	75.75
5	1900	75	2625	757.78	107.20	650.58	85.85
6	1900	100	3500	1058.89	70.40	988.49	93.35
7	550	Idle	0	132.59	34.40	98.19	74.06
jumlah				2993.71	640.00	2353.71	
rata-rata				498.95	106.67	392.28	78.62

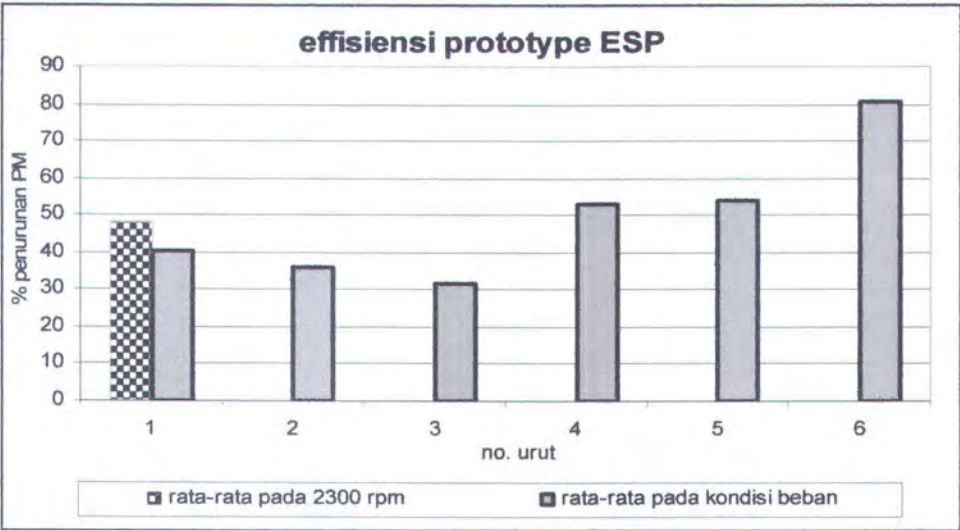
Tabel 4.11 rata-rata penurunan kadar PM pada 1900 rpm



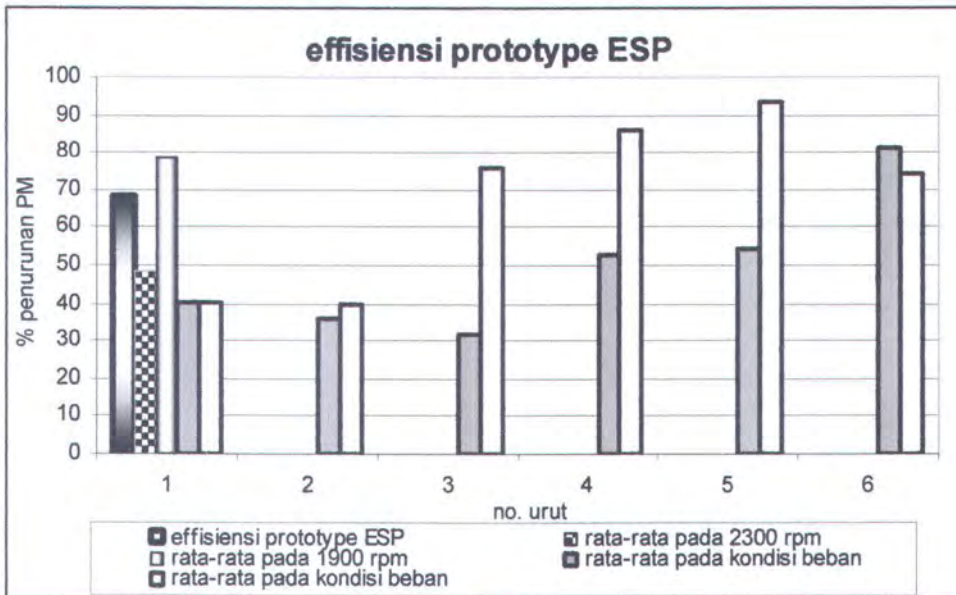
gambar 4.13 grafik efisiensi prototype ESP pada 1900 rpm motor diesel

No.	Speed (RPM)	(% beban)	Beban (Watt)	Kadar partikel padat (mg/m ³)		penurunan	% penurunan
				Engine	Prototype ESP		
8	2300	100	4500	289.63	172.40	117.23	40.48
9	2300	75	3375	205.56	131.20	74.36	36.17
10	2300	50	2250	171.11	116.80	54.31	31.74
11	2300	25	1125	199.26	94.00	105.26	52.83
12	2300	10	450	236.30	108.40	127.90	54.13
13	550	Idle	0	161.85	30.80	131.05	80.97
jumlah				1263.70	653.60	610.10	
rata-rata				210.62	108.93	101.68	48.28

Tabel 4.12 rata-rata penurunan kadar PM pada 2300 rpm



gambar 4.14 grafik efisiensi prototype ESP pada 2300 rpm motor diesel



gambar 4.15 efisiensi prototype ESP pada motor diesel

speed		engine	prototype ESP	Penurunan PM	persentase (%)
1900 rpm	jumlah kadar PM	2993.71	640.00	2353.71	78.62
	rata-rata	498.95	106.67	392.28	
2300 rpm	jumlah kadar PM	1263.70	653.60	610.10	48.28
	rata-rata	210.62	108.93	101.68	
total	jumlah kadar PM	4257.41	1293.60	2963.81	
	rata-rata	354.78	107.8	246.98	
effisiensi prototype ESP					69.62

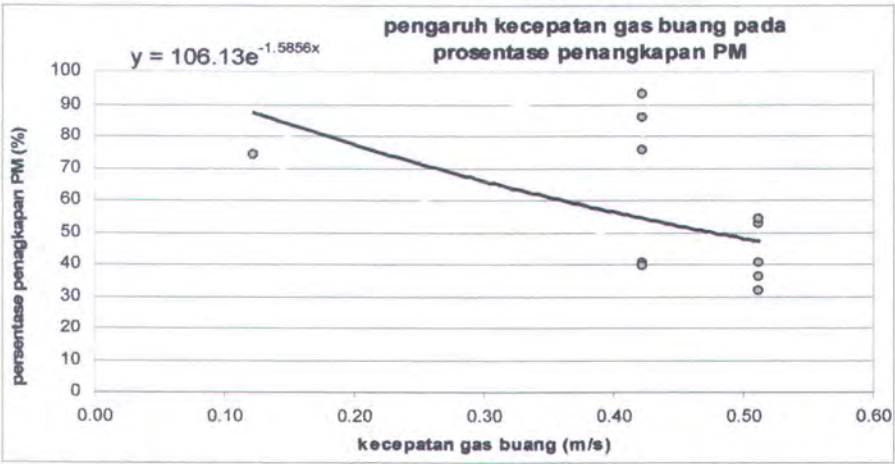
Tabel 4.16 Effisiensi Prototype ESP

4.3.3.3 Hubungan antara kecepatan gas buang pada Prototype ESP dengan efisiensi prototype ESP.

Dengan mengetahui besar kecepatan gas buang di dalam area penangkapan prototype ESP kita dapat melihat trend pengaruh prosentase penagkapan partikel padat gas buang terhadap kecepatan gas buang sebagai berikut:

No.	Speed (RPM)	Beban (Watt)	penurunan	% penurunan	debit gas buang (m3/h)	kecepatan gas (m/s)
1	550	0	-13.24	-17.53	6.63168	0.122435
2	1900	350	85.45	40.34	22.90944	0.422957
3	1900	875	109.87	39.71	22.90944	0.422957
4	1900	1750	421.13	75.75	22.90944	0.422957
5	1900	2625	650.58	85.85	22.90944	0.422957
6	1900	3500	988.49	93.35	22.90944	0.422957
7	550	0	98.19	74.06	6.63168	0.122435
8	2300	4500	117.23	40.48	27.73248	0.512000
9	2300	3375	74.36	36.17	27.73248	0.512000
10	2300	2250	54.31	31.74	27.73248	0.512000
11	2300	1125	105.26	52.83	27.73248	0.512000
12	2300	450	127.90	54.13	27.73248	0.512000
13	550	0	131.05	80.97	6.63168	0.122435

Tabel 4.17 pengaruh kecepatan gas buang di prototype ESP terhadap eff, prototype ESP



Gambar 4.16 Trend pengaruh kecepatan gas buang pada eff. Prototype ESP

4.4 PEMBAHASAN.

Dari hasil perencanaan dan desain didapat suatu bentuk prototype ESP yang diharapkan nantinya dapat digunakan sebagai penurun kadar particulate matter gas buang motor diesel. Secara fisika partikel padat gas buang dapat dikurangi dengan menerapkan medan elektrostatik, oleh karena secara experimen prototype ESP dapat berkerja pada partikel padat dengan ukuran maksimal 100 micron meter, ukuran dari partikel padat gas buang 0.01-0.1 microns meter, Sehingga ditinjau dari segi ukuran partikel padat prototype ESP dapat berkerja pada partikel padat gas buang. (Heinsohn & Kabel, 1999)

Dengan desain susunan elektrode prototype ESP yang telah dibuat 120x125 mm (WxH) luasan penampang gas masuk ke prototype ESP telah memenuhi dari batas kecepatan normal gas buang antara 1-2 m/s. Sedangkan untuk susunan elektrode dengan jarak 10 mm antara elektrode plate (Colector plate) dan elektrode kawat pemuat (discharge wire) berpengaruh pada besar dari tegangan listrik DC untuk menghasilkan/membangkitkan corona sebesar 3204. volt. Corona merupakan suatu fenomena listrik tegangan tinggi, dimana pada listrik DC corona menampilkan diri dalam bentuk cahaya yang seragam (uniform) pada permukaan kawat. (arismunandhar, 1968).

Dengan memanfaatkan corona sebagai media untuk proses pemuatan partikel padat gas buang dengan ion-ion listrik(proses ionisasi). Sedangkan untuk votage/tegangan listrik yang dibutuhkan untuk pemuatan beserta pengumpulan partikel padat gas buang sebesar 3921.48 volt setara dengan 4000 volt.

Untuk menghasilkan tegangan listrik DC sebesar yang dibutuhkan maka dibuat suatu power supply DC high voltage dengan menggunakan rangkaian Kaskade Greinacher, rangkaian ini juga disebut rangkaian pengali tegangan dan sangat efektif dalam hal peningkat tegangan AC menjadi DC high voltage(dieter kind, 1993). Dalam pembuatan power supply DC high voltage digunakan 15 kapasitor masing-masing 1.6 kV dan menggunakan transformator yang dipasang seri sehingga out put tegangan dari 220-240 volt menjadi $3 \times (220-240 \text{ volt})$, sehingga secara keseluruhan power supply DC high voltage menghasilkan out put tegangan sebesar $15 \times (3 \times (220-240)) \text{ volt}$ sehingga setara dengan 9kVolt DC. Dari perencanaan awal yang membutuhkan tegangan sekitar 4000 volt dibuat suatu power supply DC high voltage dengan out put 9Kvolt hal ini dibuat lebih besar agar nantinya didapat efisiensi

kerja prototype ESP yang optimal sesuai dengan tujuan untuk mengurangi kadar partikel padat gas buang, namun perlu diperhatikan bahwa dengan semakin besar tegangan listrik DC dapat menyebabkan terdapatnya busur api/percikan kilat diantara elektrode plate (Colector plate) dan elektrode kawat pemuat (discharge wire) atau disebut Back Corona, timbulnya back corona sangat dihindari dalam kinerja prototype ESP, karena dapat mengakibatkan efisiensi turun dan juga terjadi hubungan pendek pada sistem instalasi listrik power supply DC high voltage. (Heinsohn & Kabel, 1999)

Pada pemilihan material elektrode dipilih material besi untuk elektrode plate (Colector plate), pada dasarnya besi merupakan material yang kurang tepat karena secara kimia besi dapat mengalami korosi karena apabila terjadi reaksi oksidasi pada besi berakibat korosi dan nantinya berpengaruh pada efisiensi prototype ESP. Namun untuk keperluan eksperimen, yang sifatnya tidak lama penggunaannya, pemilihan material besi untuk prototype ESP dapat dipertimbangkan penggunaannya.

Sedangkan untuk material elektrode kawat pemuat (discharge wire) dipilih juga bahan besi baja elastis dari kawat senar gitar, sebenarnya untuk lebih idealnya dapat digunakan kawat tungsten atau mild steel, oleh karena bahan tersebut dapat bekerja pada temperatur hingga 390°C dan mempunyai konduktivitas yang lebih tinggi dari pada besi baja. (Strauss, 1975). Namun oleh karena ketidak tersedianya bahan-bahan tersebut dalam ukuran yang diinginkan pada perencanaan maka digunakan kawat dari senar gitar. Perlu juga diperhatikan bahwa pemilihan kawat senar gitar dipilih senar yang halus permukaannya, sehingga nantinya didapatkan corona yang uniform pada permukaan kawat, sehingga proses ionisasi partikel padat gas buang dapat terjadi dengan baik.

Pada pemilihan isolator digunakan material dari asbes, pemilihan ini didasarkan pada ketahanan asbes pada suhu tinggi, serta ketersediannya pada sekitar kita dan sangat ekonomis. ketahanan asbes pada suhu tinggi disebabkan karena pori-porinya mudah dimasuki udara sehingga konduktivitas panas rendah (*arismunandhar, 1968*).. Selain asbes bahan yang bisa digunakan sebagai isolator adalah Plastik Teflon, namun karena hanya untuk keperluan eksperimen yang penggunaannya tidak lama maka dipilihlah asbes.

Dari hasil pengukuran kadar partikel padat gas buang didapat suatu trend meningkatnya kadar partikel padat gas buang pada kondisi naiknya beban motor diesel, hal ini disebabkan karena semakin besar beban motor diesel maka konsumsi bahan bakar juga mengalami kenaikan, sehingga mengakibatkan naiknya nilai dari partikel padat gas buang, semua partikel yang mewakili penggabungan yang lengkap dari komponen organik dan anorganik, seperti: jelaga, asap bahan bakar, atau sebagian hidrokarbon yang tidak terbakar. Partikel ini menyumbang sekitar 20 % dari jumlah total PM yang ada. Sumber PM yang lainnya adalah minyak pelumas. (*Wright, AA., 2000*).

Pada penggunaan prototype ESP pada motor diesel didapatkan penurunan partikel padat gas buang, hal tersebut mengindikasikan bahwasannya prototype ESP dapat berkerja pada motor diesel. Pada kondisi putaran motor diesel 1900 RPM, unjuk kerja dari prototype ESP menunjukan suatu peningkatan yang lebih baik dari pada pada putaran motor diesel 2300 RPM. Dimana pada putaran 1900 RPM efisiensi prototype ESP menunjukkan angka 78.62 % dibandingkan pada 2300 RPM efisiensi prototype ESP sekitar 48.28 %. Hal ini disebabkan karena perbedaan kecepatan gas buang pada daerah pengumpulan partikel padat gas buang, dimana

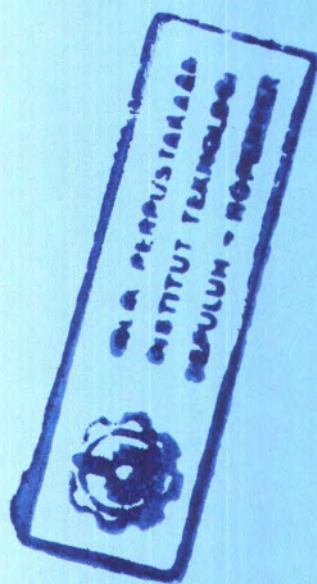
pada 1900 RPM kecepatan gas buang 0.42 m/s yang lebih rendah dibanding 2300 rpm kecepatan gas buang 0.51 m/s. Kecepatan gas buang ini sangat berpengaruh sekali terhadap efisiensi prototype ESP, semakin besar kecepatan gas maka efisiensi prototype ESP akan semakin menurun (*Strauss, 1975*).

Apabila ditinjau dari urutan pengambilan sample gas buang motor diesel maka diperoleh suatu trend penurunan pengumpulan partikel padat gas buang pada prototype ESP, hal ini disebabkan telah terjadi kejenuhan pada plate pengumpul pada prototype ESP. Hal ini disebabkan karena semakin besarnya lapisan debu partikel padat gas buang yang menempel pada plate pengumpul di prototype ESP.

Pada pemasangan prototype ESP pada motor diesel dirasakan terdapat penurunan unjuk kerja pada motor diesel, hal ini dapat dilihat dan dirasakan pada saat kalibrasi prototype ESP, setelah dilakukan uji unjuk kerja dengan memasang prototype ESP pada motor diesel didapatkan besar konsumsi bahan bakar mengalami perubahan, pengaruh dari prototype ESP terhadap unjuk kerja motor diesel lebih disebabkan pada desain saluran keluaran gas buang prototype ESP yang kurang tepat sehingga mengakibatkan terjadinya *pressure drop/back pressure*, dengan adanya hal tersebut maka desain dari prototype ESP perlu ditinjau ulang sehingga tidak terdapat pengaruh terhadap unjuk kerja motor diesel.

Pada perencanaan awal diharapkan prototype ESP dapat menghilangkan secara keseluruhan partikel padat gas buang, namun pada kenyataannya hal tersebut tidak sesuai dengan yang diharapkan, ada beberapa hal yang perlu dilakukan koreksi ulang diantaranya mengenai desain saluran gas buang pada prototype ESP, perlunya meningkatkan tegangan listrik DC, pemilihan elektrode bahan yang tepat dan experiment lebih lanjut mengenai karakteristik gas buang motor diesel.

BAB V KESIMPULAN



FAKULTAS TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNIK KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

BAB V

KESIMPULAN

5.1 KESIMPULAN.

Secara keseluruhan perencanaan dan desain prototype ESP yang telah terwujud dengan tegangan listrik DC ± 10 kV, dapat menurunkan kadar partikel padat gas buang motor diesel dengan debit $31.35 \text{ m}^3/\text{h}$ dengan rata-rata efisiensi keseluruhan 69.62%. Prototype ESP ini hanya direncanakan dan didesain untuk motor diesel dengan debit gas buang maksimal sebesar $54.16 \text{ m}^3/\text{h}$.

Namun pada pengujian prototype ESP terdapat pengaruh terhadap unjuk kerja motor diesel, hal ini dikarenakan desain dari saluran keluaran prototype ESP yang kurang sesuai, sehingga mengakibatkan tekanan balik (back pressure) pada motor diesel.

Sedangkan untuk mendapatkan unjuk kerja yang optimal dari prototype ESP dan pengaruhnya terhadap unjuk kerja motor diesel diperlukan suatu desain dan pembuatan yang tepat berdasarkan faktor-faktor desain dan karakteristik gas buang motor diesel .

5.2 SARAN.

Pada perencanaan dan desain prototype ESP perlu diperhatikan faktor-faktor yang tidak masuk dalam perhitungan, seperti pada penentuan panjang daerah pengumpulan harus memperhitungkan sifat dari karakteristik partikel padat gas buang, desain sistem saluran masuk dan keluar prototype ESP

Untuk selanjutnya perlu dilakukan penelitian mengenai tegangan yang paling efisien pada prototype ESP sehingga didapat suatu prototype ESP yang optimal dan ekonomis, dan juga analisa lebih lanjut mengenai karakteristik prototype ESP dan pengaruh karakteristik partikel padat gas buang motor diesel.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, artono. 1968, "Teknik Tegangan Tinggi", Cetakan ketujuh, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- Electrostatic Precipitator Sizing, "[Http://www.research-cottrell-us.com/#size](http://www.research-cottrell-us.com/#size)", Friday, September 03, 2004, 3:18:23 PM.
- Electrical Engineering For Pollution Control*, <http://www.eas.asu.edu/~holbert/wise/wiseinvest.html>, Friday, September 03, 2004, 3:18:23 PM
- Heinsohn, RJ & Kabel RL, 1999, "Source and Control of Air Pollution", Prentice Hall, New Jersey
- Keenam, Klienfelter, Wood, 1996, "Kimia Untuk Universitas jilid I", Penerbit Erlangga, Jakarta
- Kind, Dieter. 1993, "Pengantar teknik tegangan tinggi". Penerbit ITB, Bandung.
- Sears. Zemansky, 1994, "Fisika Untuk Universitas 2", Binacipta, Bandung.
- Sher E (editor) , 1998, "Handbook of Air Pollution form Internal Combustion Engines Pollutiont Formation and Control", Academic Press
- Strauss W. 1975, "Industial Gas Cleaning", 2nd Edition – SI units, Pergamon press, Melbourne
- Society of Automotive Engineers Inc. 1999. "In-Cylinder Diesel Particulate and NOx Control". Society of Automotive Engineers (SAE), Inc., 1999. New York America. October 1999.
- Tipler, 1996. "Fisika Untuk Sains dan Teknik", Edisi Ketiga, penerbit Erlangga , Jakarta.
- Wright, AA., 2000., "Exhaust Emissions From Combustion Machinery". Institute of Marine Engineering, MEP Series Volume 3 Part 2, England.

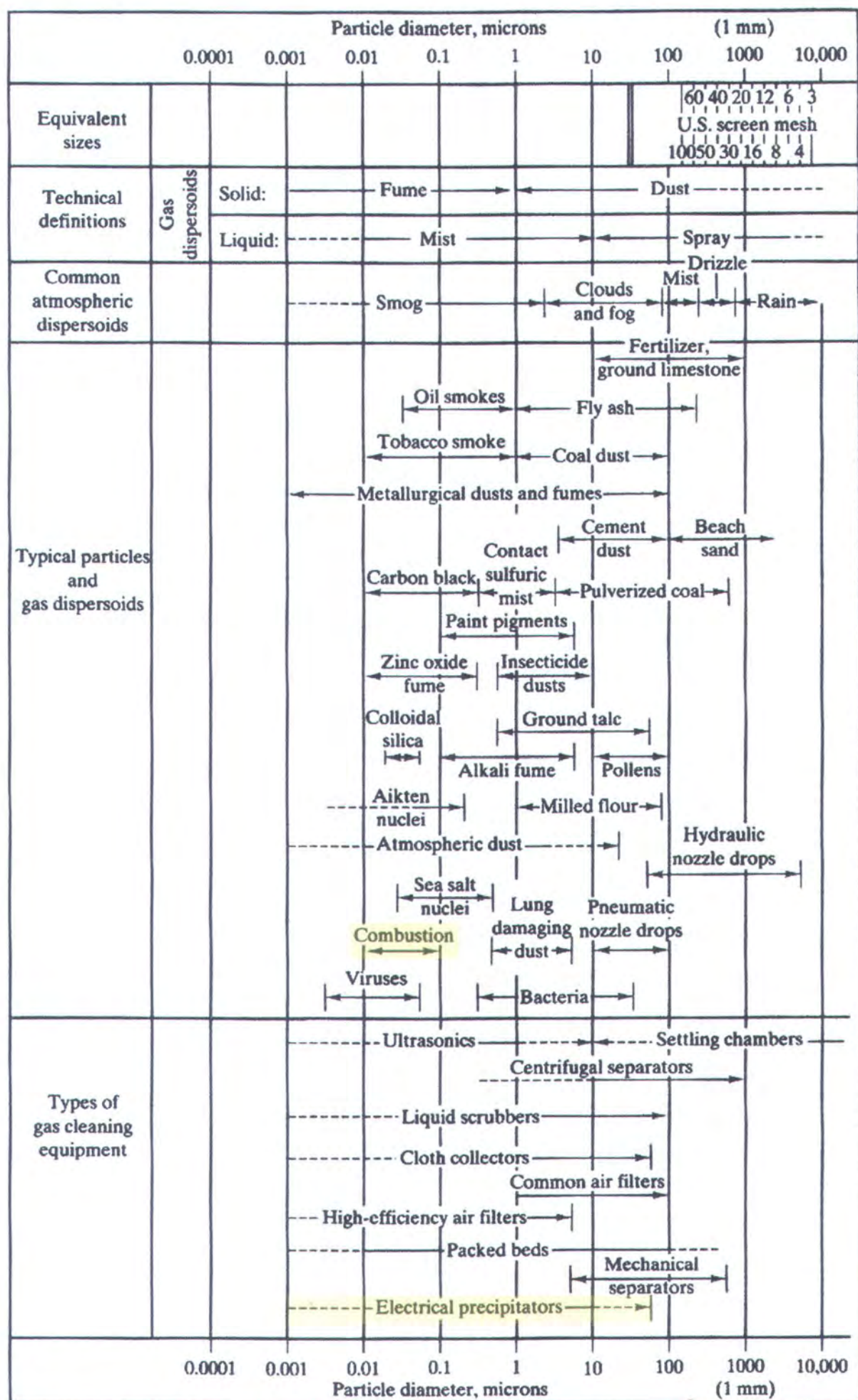
LAMPIRAN



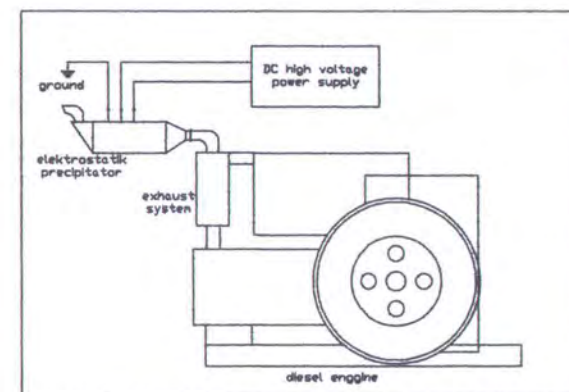
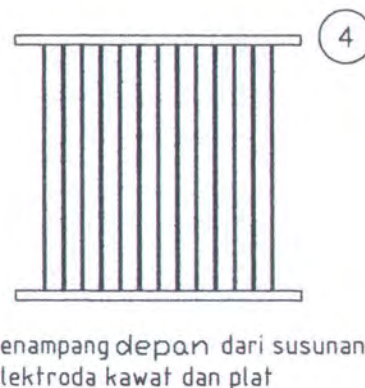
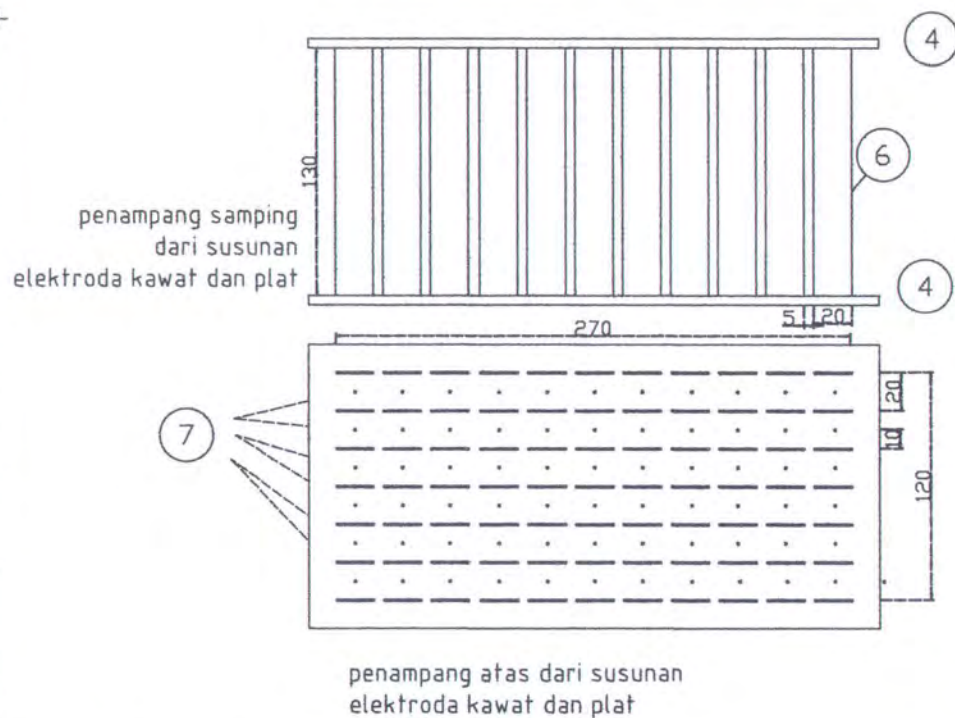
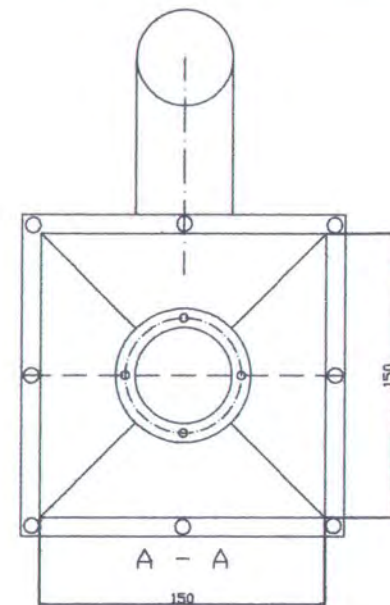
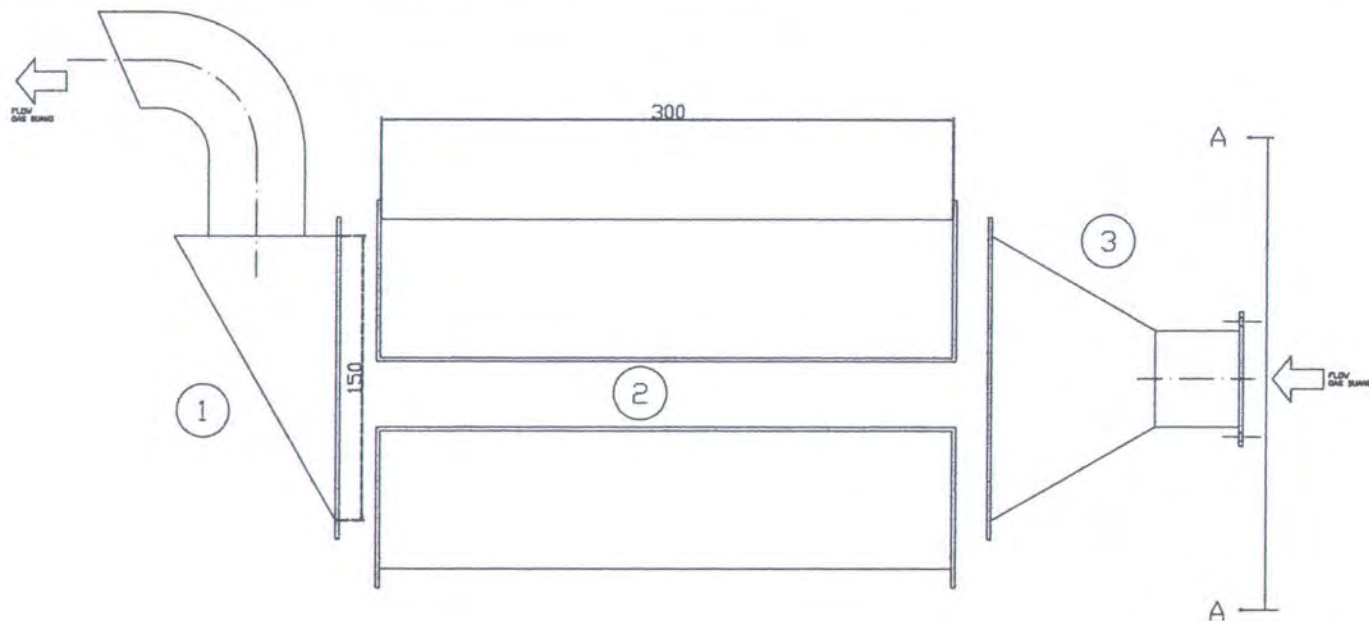
FAKULTAS TEKNIK KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN



Characteristics of particles and particles dispersoids (Lapple, 1961)



skematis pemasangan ESP pada motor diesel

7	12	kawat discharge	baja		
6	77	plat pengumpul	besi		
5			besi		
4	-	ISOLATOR asbes,semen dan PCB			
3	1	Tutup ESP pada In Let	plat besi		
2	2	tutup ESP(casing)	plat besi		
1	1	Tutup ESP pada Out let	plat besi		
Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc	Article No./Reference		
Designed by S ADY CANDRA	Checked by Ir. INDRAJAYA G, MSc	Filename	Date	Scale	
PERENCANAAN DAN DESAIN ELEKTROSTATIC PRECIPITAT					
dimension in mm				Edition	Sheet



ASLI

DEPARTEMEN KESEHATAN RI
DIREKTORAT JENDERAL PPM DAN PL
BALAI TEKNIK KESEHATAN LINGKUNGAN SURABAYA
JL. SIDOLUHUR 12 (INDRAPURA) TELP. (031) 3540189, 3540191, FAX. (031) 3528847 SURABAYA, 60175
Website : www.btklsby.go.id E-mail : info@btklsby.go.id



LAPORAN HASIL PENGUJIAN

HASIL UJI KIMIA FISIKA GAS & UDARA

Asal sampel : Kota Surabaya
Tanggal Pengambilan : 19 Januari 2005
Petugas : Ibu Leli Indahwati
dari BTKL Surabaya

Nomor	Lokasi Pengambilan	No. Lab.
1.	NO _x dan TSP dari emisi mesin diesel di Laboratorium Perkapalan ITS (P1)	270
2.	NO _x dan TSP dari emisi mesin diesel di Laboratorium Perkapalan ITS (P2)	271
3.	NO _x dan TSP dari emisi mesin diesel di Laboratorium Perkapalan ITS (P3)	272
4.	NO _x dan TSP dari emisi mesin diesel di Laboratorium Perkapalan ITS (P4)	273
5.	NO _x dan TSP dari emisi mesin diesel di Laboratorium Perkapalan ITS (P5)	274
6.	NO _x dan TSP dari emisi mesin diesel di Laboratorium Perkapalan ITS (P6)	275
7.	NO _x dan TSP dari emisi mesin diesel di Laboratorium Perkapalan ITS (P7)	276

No.	PARAMETER	Satuan	Nomor Laboratorium						
			270	271	272	273	274	275	276
1.	NO _x	ppm	46,8492	33,6385	19,3113	36,2434	4,3500	4,8523	4,5174
2.	Debu (TSP)	mg/m ³	75,555	211,852	276,667	555,926	757,778	1058,890	132,593

Perhatian : Hasil pengujian ini hanya berlaku untuk contoh di

Surabaya, 26 JAN 2005



Mengetahui :
a.n. Kepala

Kepala Seksi Pelayanan Teknik

Dra. Hj. Siswati Kesumawardani
NIP. 140200074

Koord. Lab. Kimia Fisika Gas & Udara

Y.L. Sugiyanto, ST
NIP. 140156615



ASLI

DEPARTEMEN KESEHATAN RI
DIREKTORAT JENDERAL PPM DAN PL
BALAI TEKNIK KESEHATAN LINGKUNGAN SURABAYA
JL. SIDOLUHUR 12 (INDRAPURA) TELP. (031) 3540189, 3540191, FAX. (031) 3528847 SURABAYA, 60175
Website : www.btklsby.go.id E-mail : info@btklsby.go.id



LAPORAN HASIL PENGUJIAN

HASIL UJI KIMIA FISIKA GAS & UDARA

Asal sampel : Kota Surabaya
Tanggal Pengambilan : 19 Januari 2005
Petugas : Ibu Leli Indahwati
dari BTKL Surabaya

Nomor	Lokasi Pengambilan	No. Lab.
8.	NO _x dan TSP dari emisi mesin diesel di Laboratorium Perkapalan ITS (P8)	277
9.	NO _x dan TSP dari emisi mesin diesel di Laboratorium Perkapalan ITS (P9)	278
10.	NO _x dan TSP dari emisi mesin diesel di Laboratorium Perkapalan ITS (P10)	279
11.	NO _x dan TSP dari emisi mesin diesel di Laboratorium Perkapalan ITS (P11)	280
12.	NO _x dan TSP dari emisi mesin diesel di Laboratorium Perkapalan ITS (P12)	281
13.	NO _x dan TSP dari emisi mesin diesel di Laboratorium Perkapalan ITS (P13)	282


No.	PARAMETER	Satuan	Nomor Laboratorium						
			277	278	279	280	281	282	
1.	NO _x	ppm	4,2569	4,8338	5,3409	6,2478	4,2012	5,3362	
2.	Debu (TSP)	mg/m ³	289,630	205,556	171,111	199,259	236,296	161,852	

Perhatian : Hasil pengujian ini hanya berlaku untuk contoh di

Surabaya, 26 JAN 2005

Mengetahui :
a.n. Kepala
Kepala Seksi Pelayanan Teknik
Dra. Hj. Siswati Kesumawardani
NIP. 140200074

Koord. Lab. Kimia Fisika Gas & Udara


Y.L. Sugiyanto, ST
NIP. 140156615



DEPARTEMEN KESEHATAN RI
DIREKTORAT JENDERAL PPM DAN PL

BALAI TEKNIK KESEHATAN LINGKUNGAN SURABAYA

JL. SIDOLUHUR 12 (INDRAPURA) TELP. (031) 3540189, 3540191 ; FAX. (031) 3528847 SURABAYA, 60175
Website : www.btklsby.go.id E-mail : info@btklsby.go.id



Nonor : PM.08.04.73. 273
Lampiran : 1 (satu) berkas
Hal : Hasil pengujian contoh udara

26 Januari 2005

Yang terhormat :
Saudara S Adi Chandra
Mahasiswa Teknik Perkapalan ITS
di
SURABAYA

Bersama ini kami sampaikan hasil pengujian kualitas Udara dengan No.Lab. 373 s/d 385 , yang diambil pada tanggal 25 Januari 2005 oleh Bapak Y L Sugiyanto dari Balai Teknik Kesehatan Lingkungan Surabaya

HASIL PENGUJIAN CONTOH :

Periksa lampiran.

BIAYA PENGUJIAN :

Sudilah / Sudah membayar kepada Bendaharawan Penerimaan Khusus Balai Teknik Kesehatan Lingkungan (BTKL) Surabaya.

Demikianlah untuk diketahui dan atas perhatiannya diucapkan terima kasih.

a.n KEPALA
BALAI TEKNIK KESEHATAN LINGKUNGAN
SURABAYA

Kepala Sub Bagian Tata Usaha



[Signature]
Hj. Susiyani, S.Sos, MM.
NIP 140107442



DEPARTEMEN KESEHATAN RI
DIREKTORAT JENDERAL PPM DAN PL
BALAI TEKNIK KESEHATAN LINGKUNGAN SURABAYA
JL. SIDOLUHUR 12 (INDRAPURA) TELP. (031) 3540189, 3540191, FAX. (031) 3528847 SURABAYA, 60175
Website : www.btklsby.go.id E-mail : info@btklsby.go.id



LAPORAN HASIL PENGUJIAN

ASLI

HASIL UJI KIMIA FISIKA GAS & UDARA

Asal sampel : Kota Surabaya
Tanggal Pengambilan : 25 Januari 2005
Petugas : Bpk. Y.L. Sugiyanto, ST
dari BTKL Surabaya

Nomor	Lokasi Pengambilan	No. Lab
1.	TSP dari emisi mesin diesel di Laboratorium Perkapalan ITS (P1)	373
2.	TSP dari emisi mesin diesel di Laboratorium Perkapalan ITS (P2)	374
3.	TSP dari emisi mesin diesel di Laboratorium Perkapalan ITS (P3)	375
4.	TSP dari emisi mesin diesel di Laboratorium Perkapalan ITS (P4)	376
5.	TSP dari emisi mesin diesel di Laboratorium Perkapalan ITS (P5)	377
6.	TSP dari emisi mesin diesel di Laboratorium Perkapalan ITS (P6)	378
7.	TSP dari emisi mesin diesel di Laboratorium Perkapalan ITS (P7)	379

No.	PARAMETER	Satuan	Nomor Laboratorium						
			373	374	375	376	377	378	379
1.	Debu (TSP)	mg/m ³	88,8	126,4	166,8	134,8	107,2	70,4	34,4

Perhatian : Hasil pengujian ini hanya berlaku untuk contoh di

Surabaya, 26 JAN 2005

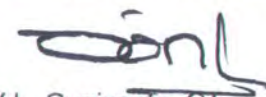


Mengetahui :
a.n. Kepala

Kepala Seksi Pelayanan Teknik

Dra. Hj. Siswati Kesumawardani
NIP. 140200074

Koord. Lab. Kimia Fisika Gas & Udara


Y.L. Sugiyanto, ST
NIP. 140156615



DEPARTEMEN KESEHATAN RI
DIREKTORAT JENDERAL PPM DAN PL
BALAI TEKNIK KESEHATAN LINGKUNGAN SURABAYA
JL. SIDOLUHUR 12 (INDRAPURA) TELP. (031) 3540189, 3540191, FAX. (031) 3528847 SURABAYA, 60175
Website : www.btklsby.go.id E-mail : info@btklsby.go.id



LAPORAN HASIL PENGUJIAN

ASLI

HASIL UJI KIMIA FISIKA GAS & UDARA

Asal sampel : Kota Surabaya
Tanggal Pengambilan : 25 Januari 2005
Petugas : Bpk. Y.L. Sugiyanto, ST
dari BTKL Surabaya

Nomor	Lokasi Pengambilan	No. Lab
8.	TSP dari emisi mesin diesel di Laboratorium Perkapalan ITS (P8)	380
9.	TSP dari emisi mesin diesel di Laboratorium Perkapalan ITS (P9)	381
10.	TSP dari emisi mesin diesel di Laboratorium Perkapalan ITS (P10)	382
11.	TSP dari emisi mesin diesel di Laboratorium Perkapalan ITS (P11)	383
12.	TSP dari emisi mesin diesel di Laboratorium Perkapalan ITS (P12)	384
13.	TSP dari emisi mesin diesel di Laboratorium Perkapalan ITS (P13)	385

No.	PARAMETER	Satuan	Nomor Laboratorium						
			380	381	382	383	384	385	
1.	Debu (TSP)	mg/m ³	172,4	131,2	116,8	94,0	108,4	30,8	

Perhatian : Hasil pengujian ini hanya berlaku untuk contoh di

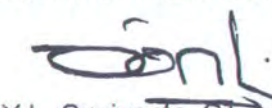
Surabaya, 26 JAN 2005

Mengetahui :

a.n. Kepala
Kepala Seksi Pelayanan Teknik

Dra. Hj. Siswati Kesumawardani
NIP. 140200074

Koord. Lab. Kimia Fisika Gas & Uda


Y.L. Sugiyanto, ST
NIP. 140156615



